Beiträge
für die Untersuchung der Eignung von Elektroden für das Lichtbogenschweißen von Stahlbauten unter besonderer Berücksichtigung der Eignung in wirtschaftlicher Hinsicht.

Zur Erlangung
der Würde eines Doktor-Ingenieurs

von der Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule Breslau

genehmigte

Dissertation.

Vorgelegt von

Dipl.-Ing. **Ernst Klosse**
aus Dessau.

Referent: Professor Rein.
Korreferent: Professor Gottwein.

Tag der mündlichen Prüfung: 27. Februar 1933.

Dessau 1933.
Anhaltische Buchdruckerei Gutenberg Gustav Zichäus G. m. b. H., Dessau.

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.
Printed in Germany.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Im Selbstverlag des Verfassers.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort 5

I. Einleitung 5

II. Einteilung der Elektrodensorten 7

A. Allgemeines 7

B. Normalgüte 8

1. Blanker Draht 8

2. Selbstgetauchte Elektroden 8

3. Dünnumhüllte Elektroden 9

4. Dickumhüllte und umwickelte Elektroden 9

C. Sondergüte 10

1. Blanker Draht 10

2. Selbstgetauchte Elektroden 10

3. Dünnumhüllte Elektroden 10

4. Dickumhüllte Elektroden 10

5. Umwickelte Elektroden 10

III. Feststellung der Eignung von Elektroden zur Schweißung von Stahlbauten 11

A. Eignung in wirtschaftlicher Hinsicht 11

1. Elektrodenkosten 13

2. Abbrand-, Spritz- und Endverluste 13

a) Abbrandverluste 14

b) Spritzverluste 14

c) Endverluste 14

3. Zeitverbrauch 15

a) Schmelzgeschwindigkeit 16

b) Schweißschwierigkeit 17

c) Zündschwierigkeit 18

d) Nebenarbeit 18

e) Art der Schweißarbeit 19

4 Arbeitsverbrauch 20

5. Unabhängigkeit vom Können des Schweißers 21

B. Durchführung und Ergebnisse der wirtschaftlichen Prüfung . . . 22

1. Abbrand-, Spritz- und Endverluste 23

a) Abbrand- und Spritzverluste 23

b) Endverluste 24

c) Gesamtverluste 25

2. Elektrodenkosten 25

3. Zeitverbrauch 27

4. Verbrauch an elektrischer Arbeit 30

20212

5. Zusammenfassung der Ergebnisse 31
6. Auflösefähigkeit der Elektrode 34
7. Zahlenbeispiel 39
C. Anwendung des Begriffs „effektive Elektrode“ auf die Kalkulation von Schweißungen 42
D. Eignung der Elektrode hinsichtlich der äußeren Beanspruchung der Naht 44
1. Festigkeit der Schweißnähte 44
a) Normaler Baustahl 44
b) Baustahl St 52 44
2. Dehnung 46
3. Kerbzähigkeit 50
4. Dauerfestigkeit 51
5. Korrosionswiderstand 51
6. Äußere Beschaffenheit 52
IV. Schluß 52
Zahlentafeln 53
Schrifttum 64
Abbildungen 67

Vorwort.

Beobachtungen in der Praxis zeigten, daß durch Verwendung sehr teurer Elektroden und den bei bestimmten Elektroden erforderlichen Mehraufwand an Lohn- und Stromkosten die Anwendung der Schweißung im Stahlbau in Einzelfällen unwirtschaftlich werden kann. Da die Verhältnisse in jedem Betriebe andere sind, läßt sich für solche Einzelfälle eine allgemeine Untersuchung über Wirtschaftlichkeitsgrenzen nicht durchführen. Es wurde ferner festgestellt, daß die Wirtschaftlichkeit einer Schweißung, beeinflußt durch die Elektrode, nicht nur von deren Einkaufspreis, sondern überhaupt von dem gesamten Aufbau der Elektrode abhängt. Daraus ergab sich die Notwendigkeit, Untersuchungsmethoden aufzustellen, mit deren Hilfe man feststellen kann, inwieweit die eine Elektrode der anderen in wirtschaftlicher Hinsicht überlegen ist.

An dieser Stelle sei den Herren Professor Rein und Professor Gottwein für ihre tatkräftige Förderung herzlichst gedankt, ebenso den verschiedenen Schweißfirmen, die mich durch Zurverfügungstellen von Maschinen und Elektroden unterstützten, sowie den Technischen Lehranstalten der Stadt Dessau, insbesondere Herrn Direktor Professor Danz, für die auch von dieser Seite erhaltene weitgehende Unterstützung.

I. Einleitung.

Die „Güte", besser gesagt die „Eignung" einer Elektrode äußert sich hauptsächlich nach zwei Richtungen, einerseits in besonders hoher Festigkeit, Dehnbarkeit, Zähigkeit, andererseits in besonders guter Wirtschaftlichkeit. Für den Stahlbau sind die Anforderungen, die man in Hinsicht auf Festigkeit usw. an eine Elektrode stellen muß, durch amtliche Vorschriften festgelegt[1]). Man könnte daher auf dem Standpunkte stehen, daß eine be-

[1]) Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (Preußischer Minister für Volkswohlfahrt II 6200 h 10. 5. 31) siehe auch DIN 4100 und Reichsbahnvorschriften H V 82 Ibsch 34. 10. 5. 31.

stimmte Elektrode grundsätzlich für das Schweißen von Stahlbauten geeignet ist, sofern sie die in den Vorschriften geforderte Festigkeit, Dehnung liefert. Da aber die praktische Prüfbarkeit von Schweißungen am fertigen Bauwerk heutzutage noch recht beschränkt ist, wird der Betrieb doch aus Sicherheitsgründen jene Elektrode bevorzugen, die ein Mehr an Festigkeit usw. liefert. Hierfür sind jedoch gewisse Grenzen gesteckt, insbesondere wenn dieses Mehr an Festigkeit und Dehnung, soweit die Elektroden in Betracht kommen, durch fühlbare Mehrkosten erkauft werden muß.

Es muß also das Ziel bei der Auswahl einer Elektrode für eine Arbeit dahin gehen, eine Elektrode zu bestimmen, die eine möglichst große Festigkeit, Dehnung usw. besitzt, andererseits in ihrem Verbrauch nicht zu teuer wird. Das heißt also, daß zu jeder Prüfung, in der die Eignung einer Elektrode für eine bestimmte Arbeit festgestellt werden soll, nach der Untersuchung der Festigkeitsverhältnisse der Schweißnaht auch unbedingt eine eingehende Beurteilung der Eignung der Elektrode vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus zugehört.

Da von Untersuchungen, wie man die Wirtschaftlichkeit einer Elektrode feststellen kann, nichts bekannt ist, kann man hieraus und auch aus der Bedeutung der Frage die Berechtigung ableiten, darzulegen, wie man mit möglichst einfachen Methoden objektiv die Eignung einer Elektrode in wirtschaftlicher Hinsicht für eine bestimmte Arbeit festlegen kann. Grundlegend waren hierfür folgende Gedankengänge: Die geschilderte Methode soll einfach sein, d. h. es soll möglichst jede Werkstatt mit üblichen Meßinstrumenten die Untersuchung vornehmen können; weiterhin: die Ergebnisse sollen objektiv sein, d. h. die einzelnen Faktoren sollen ziffernmäßig festzulegen sein, damit durch ein Mehr oder Minder die Entscheidung über die Eignung gefällt werden kann.

Daneben soll der Vollständigkeit halber auch auf die Anforderungen, die man in bezug auf Festigkeit, Dehnung usw. an die Elektroden stellen muß, und auf die diesbezüglichen Prüfungen kurz eingegangen werden.

Doch zunächst soll versucht werden, in die Unzahl der heute auf dem Markt befindlichen Elektrodensorten eine gewisse Ordnung zu bringen.

II. Einteilung der Elektrodensorten.

A. Allgemeines.

Die bisher übliche Einteilung der Elektroden für Stahlbauten war in nackte, dünn-umhüllte und dick-umhüllte Elektroden. Mitunter wird noch die Seelenelektrode besonders angegeben. Diese Einteilung ist zu wenig ins Einzelne gehend.

Hier soll zunächst dadurch eine Einteilung geschaffen werden, daß die beiden Begriffe „Normalgüte" und „Sondergüte" geprägt werden. Jede Elektrodenfirma stellt mindestens zwei verschiedene Elektrodensorten her, die sich im Preis unterscheiden. Die billigeren Sorten sollen unter dem Begriff „Normalgüte", die teureren unter dem Begriff „Sondergüte" zusammengefaßt werden.

Eine weitere Unterteilung wird am besten nach der äußeren Beschaffenheit der Elektrode vorgenommen, und zwar kann man unterscheiden: Blanker Draht, Kurzzeichen für die vorliegende Arbeit „Bl"; sodann selbstgetauchte Elektroden, Kurzzeichen „Sg"; dann dünn-umhüllte Elektroden, Kurzzeichen „Du"; weiter die dick-ummantelten Elektroden, Kurzzeichen „Di"; schließlich die umwickelten Elektroden, Kurzzeichen „Wi".

Bevor auf diese Begriffe näher eingegangen wird, soll, weil für die weitere Untersuchung wichtig, kurz die Frage der verschiedenen Länge der Elektroden gestreift werden. In neuerer Zeit scheint sich als übliche Länge 450 mm einzubürgern, während die älteren Vorschriften der Deutschen Reichsbahn noch von einer Länge von 350 mm sprechen, und auch die soeben herausgekommenen Richtlinien des Fachausschusses für Schweißtechnik im V. D. I. grundsätzlich die Länge von 350 mm festlegen[2]).

Die kürzere Elektrode hat den Vorteil der leichteren Handhabung und der geringeren Veränderung des Stromwertes. Die lange Elektrode hat den Vorteil, daß sie weniger Abfall ergibt, daß das Auswechseln der Elektrode seltener vorgenommen zu werden braucht, so daß der Zeitverlust dafür geringer ausfällt; sie hat den Nachteil, daß sie sich am Anfang schwerer schweißen läßt, und daß der elektrische Widerstand schwankt und damit auch der Schweißstrom. Flamm empfiehlt als Ausgleich für

[2]) Fachausschuß für Schweißtechnik im V. D. I. Zwanglose Mitteilungen Nr. 20, Seite 2.

das Letzte die Anwendung von konischem Drahtkern oder konischer Umhüllung, was aber bisher wohl wegen Herstellungsschwierigkeiten noch nirgends verwirklicht worden ist.

Die Elektrodenstärke richtet sich im Normalfalle nach der Stärke des Werkstückes, da einerseits der Einbrand, andererseits das Verziehen davon abhängt. Während es noch vor einiger Zeit nur Elektroden von 1 bis 5 mm Stärke gab, geht neuerdings das Bestreben der Elektrodenfabrikanten dahin, möglichst dicke Elektroden herzustellen. Man ist dabei heutzutage schon bis 12 mm Durchmesser gekommen. Die einzelnen Elektroden sind von Millimeter zu Millimeter im Durchmesser abgestuft. Daneben gibt es, auf den englischen Drahtlehren fußend, Elektroden in Zwischengrößen; diese werden meistens von ausländischen Elektrodenfabrikanten bevorzugt. Da bei der vorliegenden Untersuchung Elektroden von den verschiedensten Firmen untersucht werden sollten, mußte ein Durchmesser gewählt werden, der von allen Firmen benutzt wird; dies ist 4 mm. Die Beschränkung auf diesen Durchmesser konnte mit um so größerem Rechte erfolgen, als diese Stärke sicher die meistgebrauchte ist.

B. Normalgüte.

1. Blanker Draht.

Blanker Draht wird im allgemeinen nach seiner chemischen Beschaffenheit beurteilt. Tafel Nr. 1 zeigt eine Zusammenstellung der Analysenwerte, die verschiedene Forscher aufgestellt haben.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde bei der späteren Untersuchung die Elektrode A gewählt (siehe Tafel Nr. 2 und 3).

2. Selbstgetauchte Elektroden.

Man kauft blanken Draht und stellt sich durch Eintauchen in eine gekaufte oder selbsthergestellte Umhüllung selbstumhüllte Elektroden her. Dieses Verfahren hat in der Praxis bisher wenig Eingang gefunden; auch in der Literatur ist hierüber nichts zu finden. Daher wurden bei der vorliegenden Untersuchung gerade auch solche Elektroden in den Kreis der Betrachtungen gezogen.

Um Unterlagen zu gewinnen, in welcher Weise sich die Umhüllung bemerkbar macht, wurden Drähte aus der gleichen

Lieferung, wie sie blank untersucht wurden, auch umhüllt untersucht. Als Umhüllmasse diente für die blanke Elektrode Normalgüte eine käufliche Umhüllmasse Type hellgrau. Die Stäbe wurden laut Vorschrift der Herstellerfirma der Pasten zunächst entfettet, dann abgespült und getrocknet. Sodann wurden sie in einen Standzylinder in die Umhüllmasse eingetaucht und getrocknet. Durch Abtropfen geht ein gewisser Teil der Umhüllmasse zunächst verloren, der aber aufgefangen und wieder verwendet werden kann. Der wirkliche Verbrauch an Paste ist sehr gering. Nach Angabe der Firma können mit 1 kg Paste ungefähr 800 Elektroden umhüllt werden.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde die Elektrode C gewählt, die aus dem Draht der Elektrode A, versehen mit der Umhüllmasse, besteht.

3. Dünn-umhüllte Elektroden.

Um diesen Begriff auch ziffernmäßig festzulegen, wurden etwa 200 verschiedene Elektroden gemessen. Und zwar wurden der Durchmesser der Umhüllung und der Drahtdurchmesser festgelegt. Dann wurde aus beiden Werten das Verhältnis D/d gebildet. Es ergab sich, daß die Zahl 1,2 für das Verhältnis D/d eine gute Unterscheidung gibt. Es sollen also die Elektroden mit einem Verhältnis von D/d kleiner als 1,2 als dünn-umhüllte, solche mit dem Verhältnis über 1,2 als dick-umhüllte Elektroden bezeichnet werden.

Hinsichtlich des Preises seien hier als Elektroden von Normalgüte alle die bezeichnet, die weniger als 3,1 Pfg. je Stück 450 mm lang 4 mm ∅ kosten. Es sei vermerkt, daß sich hier bei den umhüllten Elektroden eine solche Preisgrenze schwieriger ziehen läßt als beim blanken Draht.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde die Elektrode E gewählt.

4. Dick-umhüllte und umwickelte Elektroden.

Die stark umhüllten Elektroden, ebenso die umwickelten Elektroden lassen sich wegen ihres hohen und unregelmäßigen Preises wohl kaum unter den Begriff Normalgüte bringen.

C. Sondergüte.

1. Blanker Draht.

Hierzu gehört der Seelendraht, gekennzeichnet dadurch, daß dieser Draht einen Kern von nichtmetallischen Stoffen (Mangan-Sulfid, Mangan-Eisen-Sulfid, Eisen-Eisenphosphid, Eisenschlacke) enthält.

Als Vertreter dieser Gruppe wurde die Elektrode B gewählt.

2. Selbstgetauchte Elektroden.

Hier besteht gegen II B 2 ein Unterschied insofern, als einmal teurerer Drahtwerkstoff, zum anderen Male teurere Umhüllmasse verwendet wird. Auf die dadurch bedingten Veränderungen der Schweiße wird noch später ausführlich eingegangen.

Als Drahtwerkstoff wurde die Elektrode B gewählt und auf die gleiche Weise wie oben beschrieben mit der Umhüllmasse Type Grau versehen. Dies ergab dann die Elektrode D.

3. Dünn-umhüllte Elektroden.

Über das Durchmesser-Verhältnis soll das Gleiche gelten wie bei II B 3.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde die Elektrode F gewählt.

4. Dick-umhüllte Elektroden.

Durchmesser-Verhältnis über 1,2. Man bezeichnet diese Elektroden auch öfters als Schmelzmantel-Elektroden. Die Preise schwanken außerordentlich stark.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde die Elektrode G gewählt.

5. Umwickelte Elektroden.

Diese sind dadurch gekennzeichnet, daß ein Asbestfaden um den Stahlkern gewickelt ist.

Als Vertreter für diese Gruppe wurde die Elektrode H gewählt.

III. Feststellung der Eignung von Elektroden zur Schweißung von Stahlbauten.

A. Eignung in wirtschaftlicher Hinsicht.

Das Schweißen von Stahlbauten tritt in der Regel in Wettbewerb mit dem Nietverfahren. Sieht man von Sonderfällen ab, wo vielleicht die durch das Schweißen erzielbare Gewichtsersparnis oder auch die besondere Eignung des Schweißverfahrens, schwierige Trägeranschlüsse im Gegensatz zum Nietverfahren leicht durchzuführen, eine besondere Rolle spielt, so wird man im Regelfalle verlangen müssen, daß das Schweißen billiger als das Nieten ist. Es soll hier nicht berücksichtigt werden, daß die Wirtschaftlichkeit einer Schweißung von der gesamten Konstruktion, von der Arbeitsvorbereitung, von der Schweißmaschine und von der Stromart abhängig ist. Hier soll nur untersucht werden, welchen Einfluß die Elektrode auf das wirtschaftliche Schweißen ausübt.

Es werden sich im wesentlichen 3 Punkte hervorheben: Elektrodenkosten, Zeitaufwand, Kosten an elektrischer Arbeit. Die Berücksichtigung der spezifischen Festigkeit des Schweißgutes kann zunächst außer Betracht bleiben, und zwar aus folgenden Gründen: Selbstverständlich muß man von den zu verwendenden Elektroden die in den Vorschriften geforderten Mindestfestigkeiten verlangen. Ein Mehr an Festigkeit und Dehnung, das das Schweißgut der einen Elektrode hergeben mag, wird zwar wegen der erhöhten Sicherheit dem Betriebe willkommen sein, trotzdem wird man aber einen Schweißquerschnitt in der Naht vorsehen, der der Mindestfestigkeit entspricht. Eine Ersparnis würde sich also dadurch zunächst nicht einstellen. Dagegen spielen die anderen drei Punkte eine wichtigere Rolle. Sie bilden den wichtigsten Bestandteil der Kostenermittlung beim Schweißen überhaupt. Aus den Einflüssen der Elektroden auf diese Punkte wird man dann die besondere Eignung der einen Elektrode herauslesen müssen. Es soll also ein Verfahren entwickelt werden, mit dem bei überall leicht möglicher Durchführung ein objektiver Vergleich von verschiedenen Elektroden in wirtschaftlicher Hinsicht vorgenommen werden kann. Objektiv ist aber eine Prüfung nur dann, wenn man irgendwelche Ergebnisse ziffernmäßig

festlegen kann. Weiterhin wurde Wert darauf gelegt, daß alle Untersuchungen möglichst einfach, möglichst schnell und billig und doch zuverlässig durchgeführt werden können.

Die besondere Eignung einer Elektrode in wirtschaftlicher Hinsicht macht sich bemerkbar an dem geringsten Kostenaufwand für eine bestimmte Schweißarbeit.

In der Literatur findet man nur die Angabe, daß man die Kosten für die Schweißarbeit auf 1 kg abgeschmolzenen Elektrodenwerkstoff beziehen soll[3]) oder auf 1 m Naht von bestimmter Form und Stärke. Diese Verfahren, die ihre Vorteile vor allem bei der Kalkulation von Schweißarbeiten haben, sind hier nicht so am Platze, da man die Einflüsse der einzelnen Punkte zu wenig scharf erkennen kann, außerdem die Durchführung der Prüfung schwierig und wenig genau ist. Es mußte daher ein anderer Weg angegeben werden. Das Ziel, das verwirklicht werden sollte, ging dahin, daß man die einzelnen Posten, aus denen sich die Wirtschaftlichkeit des Verschweißens einer Elektrode zusammensetzt, einzeln feststellt, daß man sie dann mit Hilfe von entsprechenden Umrechnungszahlen auf gemeinschaftlichen Nenner bringt, so daß man zum Schluß die einzelnen „Punkte" addieren und daraus die Rückschlüsse ziehen kann.

Dieses Verfahren wurde nach verschiedenen Vorentwürfen vom Verfasser erstmalig in der „Elektroschweißung" Heft 2, 1932 veröffentlicht. Die Hauptschwierigkeiten, die überwunden werden mußten, waren die Festsetzung einfacher, dabei aber sicherer Umrechnungszahlen und die möglichst einfache, dabei aber zuverlässige Berechnung der Einzelwerte.

Ob man nun die äußere Form der Punktwertungstabelle in der angezogenen Veröffentlichung vorzieht oder sich mit einer Aufstellung begnügt, wie sie auch bei der vorliegenden Untersuchung angewendet wurde, ist an und für sich belanglos. Für den praktischen Betrieb würde sich eine Punktwertungstabelle unter Benutzung der in der Veröffentlichung und später auch hier angegebenen Nomogramme zur Berechnung der einzelnen Werte empfehlen, da eine solche Tabelle für neue zu untersuchende Elektroden beliebig erweiterungsfähig ist.

Das Neue gegenüber anderen Verfahren der wirtschaftlichen

[3]) Siehe auch Goldstein: Arbeitszeitermittlung beim Lichtbogenschweißen. A. D. B.-Mitteilungen. Maschinenbau Band 9, Seite 489.

Bewertung von Elektroden liegt darin, daß der Begriff „effektive Elektrode" gebildet wurde. Unter „effektiver Elektrode" soll hier verstanden werden der Werkstoff einer schon niedergeschmolzenen Elektrode in dem gleichen Gewicht, das die Elektrode vor dem Schweißen hatte.

Der Vorteil dieses Begriffs liegt darin, daß man die sehr wichtigen Spritzverluste berücksichtigt. Stellt man nun die Kosten für das Verschweißen einer effektiven Elektrode auf, für die Punktwertungstabelle in Punkten, für die hier vorliegende Tabelle in Reichspfennigen je effektive Elektrode, so erkennt man nicht nur auf einen Blick die mehr oder minder überragende Wirtschaftlichkeit der einen oder anderen Elektrode, sondern auch sofort den Grund, warum gerade diese Elektrode in wirtschaftlicher Hinsicht überlegen ist.

Doch zunächst sollen die einzelnen Punkte, die einen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Verschweißens von Elektroden ausüben, näher beleuchtet werden.

1. Elektrodenkosten.

Die Kosten für die Elektroden sollen möglichst niedrig sein. Der Preis bestimmt sich aus dem Einkaufspreise und der Fracht. Die Frachtkosten sind gegenüber den anderen Kostenpunkten so gering, daß man sie wohl meist vernachlässigen kann.

Die Kosten für selbstgetauchte Elektroden sind nicht so einfach bestimmt. Die Kosten für den Draht sind gegeben. Nimmt man nach früheren Angaben an, daß von 1 kg Paste 800 Elektroden umhüllt werden können, ist danach der Kostenaufwand für die Paste zu errechnen. Bei den hier untersuchten selbstgetauchten Elektroden wurden Zeiten gemessen, und zwar für das Reinigen von 20 Elektroden einschließlich Befestigen in die Tauchvorrichtung 12 Minuten und für das Tauchen selbst 7 Minuten. Das ist reichlich viel, hängt aber von der Einrichtung ab. Immerhin wird man nicht sehr fehlgreifen, wenn man als Zuschlag für das Tauchen zur Elektrode C 1,1 Pfg. zuschlägt, für die Elektrode D 1,3 Pfg. je Stück.

2. Abbrand-, Spritz- und Endverluste.

Vom wirtschaftlichen Standpunkte aus sollen diese Verluste möglichst niedrig sein, denn sie bedeuten ja zunächst einmal

einen Verlust an dem gegebenenfalls recht teuren Elektrodenwerkstoff. Weiterhin, und das ist meist das wichtigere, größere Übel, werden durch solche Verluste die Schweißzeit und auch der Arbeitsverbrauch wieder höher, denn die Verluste müssen doch durch neu niedergeschmolzenen Werkstoff wieder ergänzt werden.

a) Abbrandverluste: Hiermit sind die Verluste gemeint, die dadurch entstehen, daß Stoffe der Elektrode durch die starke Erwärmung des Lichtbogens in Dampfform verwandelt werden und dann entweder rein oder in chemischer Bindung mit irgendwelchen anderen Stoffen der Elektrode, der Umhüllung oder der Luft entweichen. Der prozentuale Anteil dieses Verdampfungsverlustes wird nie allein, immer nur mit den Spritzverlusten zusammen angegeben.

b) Spritzverluste: Sie entstehen dadurch, daß flüssiger Elektrodengrundstoff von der Elektrode weggeschleudert wird oder daß flüssiger Elektrodenwerkstoff in die Schlacke geht. Das Wegschleudern kann seine Ursache haben in unregelmäßiger Bewegung der Elektrodenspitze, ist also abhängig vom Schweißer, oder an zu hohem Schweißstrom oder es liegt an der Elektrode selbst. Es kommt dann zustande, wenn in der Elektrode eingeschlossene Gase durch die plötzliche Erwärmung explosionsartig frei werden. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache ist also die Elektrode möglichst gasfrei herzustellen. Am übelsten macht sich hierbei Wasserstoff bemerkbar, der zunächst durch die Stahlherstellung in die Elektrode geraten kann, häufig aber auch erst durch das Beizen des Drahtes in verdünnter Schwefelsäure zur Befreiung vom Walzzunder von der Elektrode aufgenommen wird.

Eisentröpfchen in der Schlacke, von der Elektrode herrührend, finden sich vornehmlich bei stark-umhüllten Elektroden.

c) Endverluste: Die Endverluste entstehen dadurch, daß man das letzte Ende der Elektrode nicht verschweißen kann, weil man ja die Elektrode in der Schweißzange festklemmen muß. Es sind schon einige Vorschläge gemacht worden, um diese Endverluste ganz zu vermeiden[4]), wonach das Ende der alten Elektrode mit Hilfe einer Steckvorrichtung mit dem Schweißlichtbogen an die neue Elektrode festgeschweißt werden soll. Diese

[4]) Elektroschweißung 1931. Heft 7, Seite 126 und Heft 10, Seite 194. Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig.

Vorschläge werden sich aber kaum in der Praxis einbürgern können. Denn erstens ist es für den Schweißer viel zu umständlich, so lange zu probieren, bis er das hereingesteckte Ende der vorherigen Elektrode mit seiner neuen langen Elektrode erreicht hat, zweitens ist bei umhüllten Elektroden dieses Ende ja frei von Umhüllmasse; drittens wird sich zwischen dem Elektrodenrest und der neuen Elektrode ein Schlackennest befinden, das bestimmt nicht zur Verbesserung der gesamten Schweißarbeit beiträgt. Nur bei Schweißautomaten, bei denen der Elektrodenwerkstoff in Form von fortlaufenden Drähten zugeführt wird, kann man wohl praktisch von einem Endverlust gleich Null sprechen.

Der Endverlust ist also, abgesehen von diesem Sonderfall, etwas Unabänderliches. Es kann sich nur darum handeln, ihn möglichst klein zu halten. Er hängt im wesentlichen von zwei Faktoren ab.

Zunächst spielt hier die Schweißzangen-Konstruktion eine Rolle. Diejenigen Zangen, bei denen man die Elektrode mit der Hand festkneifen kann, werden in der Regel eine kleinere Einspannlänge und damit ein kleineres Abfallende hervorrufen als die Zangen, bei denen das Festklemmen von einer Feder bewirkt wird.

Dann aber ist vor allem die Elektrodenlänge maßgebend. Lange Elektroden haben insgesamt weniger Abfallenden für eine bestimmte Arbeit als kurze Elektroden. Bei umhüllten Elektroden ist ja die äußerste Länge durch die Forderung der noch einigermaßen bequemen Handhabung beschränkt. Bei blanken Elektroden fällt dieser Gesichtspunkt fort; man sollte daher hier nur möglichst lange Elektroden verbrauchen, denn man kann sie ja kurz einspannen und nachschieben. Natürlich kommt dieses Verfahren nur in Frage, wenn einfache glatte Nähte zu schweißen sind, da sonst die Handhabung mit dem lang-überragenden Elektrodenende zu schwierig wird, und Ersparnisse an Elektrodenwerkstoff durch das häufige Abreißen des Lichtbogens gegebenenfalls mehr als aufgezehrt werden.

3. Zeitverbrauch.

Betrachtet man diesen Punkt eingehend, wird man feststellen, daß sich die gesamte Schweißzeit aus verschiedenen Einzelheiten zusammensetzt.

a) Schmelzgeschwindigkeit: Unter Schmelzgeschwindigkeit versteht man die abgeschmolzene Werkstoffmenge je Zeiteinheit. Betrachtet man, wie es hier durchgeführt wurde, nur einen einzigen Drahtdurchmesser, so kann man einfacher unter Schmelzgeschwindigkeit die Zeit in sek. verstehen, die zum Niederschweißen einer Elektrode gebraucht wird.

Die Schmelzgeschwindigkeit ist wieder abhängig von dem verwendeten Drahtwerkstoff. Man könnte annehmen, daß durch eine Erhöhung der Menge der Legierungsbestandteile infolge Sinkens der Schmelztemperatur des Eisens die Abschmelzgeschwindigkeit steigt. Genaue Untersuchungen hierüber fehlen. Doch ist z. B. festgestellt worden, daß durch eine Erhöhung des C-Gehaltes zwar die Schmelztemperatur sinkt, die Schmelzgeschwindigkeit jedoch auch absinkt; also eine Tatsache, die ein der Vermutung gegenteiliges Verhalten zeigt.

Weiter hat Lefring nachgewiesen[5]), daß für Beurteilung der Schmelzgeschwindigkeit die Umhüllung sehr wesentlich ist. Allerdings konnte er ein einheitliches Verhalten der verschiedenen Elektroden nicht nachweisen. Ähnliches ergibt sich nach Lefring für die Stromart und für die Polarität bei Gleichstrom. Er weist nach, daß man im allgemeinen damit rechnen kann, bei kohlenstoffarmen Elektroden am Pluspol eine höhere Abschmelzgeschwindigkeit als am Minuspol zu erreichen; er stellt aber gleichzeitig fest, daß in dieser Beziehung sich verschiedene Elektrodenarten verschieden verhalten, daß sich also öfters gerade das Gegenteil ergibt. Zu ähnlichen Schlüssen kommt Tewes[6]); Wechselstrom ergab nach diesen Untersuchungen eine Erhöhung der Abschmelzmenge und damit eine Verkürzung der Schweißzeit um 6 bis 12%. Sodann stellt Lefring fest, daß sich die Abschmelzgeschwindigkeit verändert durch die Schweißstromstärke.

Zusammengefaßt sei festgestellt, daß die Schmelzgeschwindigkeit von verschiedenen Faktoren abhängt, die sich teilweise

[5]) Lefring: Einfluß der Schweißstrombedingungen bei der elektrischen Lichtbogenschweißung von weichem Flußstahl. Mitteilungen aus dem Kaiser-Wilhelm-Institut für Metallforschung, Berlin-Dahlem. Forschungsheft Nr. 332. V. D. I.-Verlag 1930.

[6]) Tewes: Die Auftragsschweißung mit dem elektrischen Lichtbogen bei Straßenbahnschienen in Abhängigkeit vom Schienenmaterial, Zusatzmaterial und Schweißart. Selbstverlag des Verfassers, Berlin 1929.

überlagern, so daß man auf Grund äußerer Kennzeichen oder selbst gar auf Grund einer chemischen Analyse kaum einigermaßen einwandfreie Angaben über die Schmelzgeschwindigkeit einer zu einer Untersuchung vorliegenden Elektrode treffen kann. Man muß daher in jedem Falle die Schmelzgeschwindigkeit einer Elektrode wie später gezeigt feststellen.

b) Schweißschwierigkeit: Für den Zeitverbrauch ist ferner sehr maßgebend die mehr oder minder große Schwierigkeit, den Lichtbogen aufrechtzuerhalten. Gleichstrom ist hier wesentlich unempfindlicher als Wechselstrom; doch gibt es auch Elektroden, die sich selbst bei Gleichstrom-Schweißmaschinen schwer genug verschweißen lassen. Gerade dieser Punkt ist für die Praxis sehr wichtig, und es sei daher etwas näher darauf eingegangen. Die Schweißschwierigkeit einer Elektrode hängt ja von verschiedenen Faktoren ab; manche Punkte lassen sich ziffernmäßig überhaupt schwer festlegen.

Die Schweißschwierigkeit ist in sehr weitem Maße von dem Können des Schweißers und auch von seinem augenblicklichen körperlichen und seelischen Zustande abhängig.

Daneben spielen hier aber vor allem die Charakteristiken der Schweißmaschinen eine überragende Rolle. Maschinen mit steiler (weicher) Charakteristik ergeben geringere Schwierigkeiten als Maschinen mit flacher (harter) Charakteristik. Die Zündspannung soll recht hoch sein, um ein schnelles Zünden zu ermöglichen. Bei den meisten Gleichstrommaschinen sinkt die Zündspannung mit der Schweißstromstärke. Man wird also um so größere Zündschwierigkeiten haben, je kleiner der Schweißstrom ist. Anders verhalten sich die meisten Wechselstrommaschinen, bei denen sich die Zündspannung bei verschiedenen Schweißstromstärken kaum ändert.

Eine besondere Charakteristik besitzt die Schweißmaschine, die zu den späteren Untersuchungen benutzt wurde (s. Abb. 1. Charakteristik und Leerlaufleistung des Schweißumformers). Diese ergibt z. B. bei der gewollten Schweißstromstärke von etwa 120 Ampere so niedrige Zündspannungen, daß dadurch das Zünden sehr erschwert wird. Hat man z. B. zwei Elektroden zu untersuchen, die eine soll mit 110, die andere mit 120 Ampere geschweißt werden, so wird die erste in dem Bereich der hohen Zündspannungen, die andere in dem Bereich der niederen Zünd-

spannungen zu schweißen sein. Durch obige Darlegungen ergibt sich, daß man durch diese Schweißschwierigkeit eine höhere Schweißzeit für die zweite Elektrode erhalten wird. Streng genommen ist ja dafür diese Elektrode nicht verantwortlich in weiterem Sinne jedoch ja, denn sie sollte ja eben mit einer Stromstärke von 120 Ampere verschweißt werden. Es ist wichtig, auf diese Verhältnisse mit besonderem Nachdruck hinzuweisen, denn bei sonst in der Literatur bekannt gewordenen Untersuchungen sind diese Punkte nicht berücksichtigt. Die Folgerung, die man hieraus ziehen muß, ist die, daß man irgendwelche Probeuntersuchungen von Elektroden hinsichtlich ihrer Schweißschwierigkeit nur mit der Maschine und bei der vorgeschriebenen Stromstärke vornehmen darf, mit der dann auch später im praktischen Betriebe geschweißt werden soll.

Und nicht zuletzt hängt die schwere oder leichte Schweißbarkeit auch noch von der Elektrode selbst ab.

c) Zündschwierigkeit: Andere Elektroden ergeben Zündschwierigkeiten, während das Halten des einmal gebildeten Lichtbogens meist keine Schwierigkeiten mit sich bringt. Daß diese Zündschwierigkeit bei kalten Stücken größer ist als bei warmen, ist bekannt und hängt mit der Ionisierung der Luftstrecke durch Wärme zusammen. Auf manche Zündschwierigkeiten, hervorgerufen durch die Charakteristik der Schweißmaschine, wurde im vorigen Abschnitt schon hingewiesen.

d) Nebenarbeit: Unter Nebenarbeit soll hier all der Arbeitsaufwand verstanden werden, der zum Schweißen notwendig ist, mit dem eigentlichen Schweißvorgange jedoch nichts zu tun hat. Die Nebenarbeit, soweit sie von der Elektrode abhängt, besteht im wesentlichen aus einer Arbeitsvorbereitung und einer Nacharbeit. Die Arbeitsvorbereitung besteht aus der Säuberung der Schweißränder von Rost, Zunder, Farbe, Schlacke; die Nacharbeit aus einem Reinigen der Schweißraupe nach dem Schweißen, sei es, daß man einen gut haftenden Rostschutz anbringen will, sei es, daß die Naht in mehreren Lagen geschweißt werden soll.

Was die Arbeitsvorbereitung anbetrifft, so ist festzustellen, daß manche Elektroden insofern gewisse Ersparnisse bringen können, als man bei ihnen vielleicht in weiterem Maße auf Reinigen der Kanten verzichten kann, da sie in der Lage sind,

Verunreinigungen der Naht, Zunder, Rost aufzulösen. Allerdings schreiben die preußischen Vorschriften (DIN 4100) ausdrücklich vor, daß Schmutz, Rost, Zunder, Schlacke, Farbe sorgfältig vor dem Schweißen entfernt werden müssen; hier wird also eine Reinigungsmöglichkeit durch die Elektrode nicht zugelassen. Amerikanische Versuche[7]) dagegen weisen nach, daß die Anwesenheit von Öl, Rost, Farbe in der Schweißnaht auf die Festigkeit der Verbindung nur einen geringen Einfluß ausübt, wenn man in solchen Fällen geeignete Elektroden und einen höheren Schweißstrom anwendet.

Bei der Nacharbeit kann eine Elektrode dadurch sparen, daß sie entweder gar keine Schlacke absetzt und daher kein Reinigen der Naht notwendig macht, oder daß sie eine dichtzusammenhängende, leicht zu entfernende Schlackendecke hinterläßt, die man nachher leicht abheben kann, oder die durch die Wärmespannungen von alleine abspringt. Der Einwand von mancher Seite, grundsätzlich nur in einer Lage mit entsprechend starker Elektrode zu schweißen, so daß man auf eine Reinigung der Naht für die nächste Lage verzichten kann, darf als nicht stichhaltig gelten. Denn wie schon oben gesagt, muß die Schweißstelle auch gereinigt werden zum sicheren Anbringen eines Rostschutzes, auf den man wohl nur in den seltensten Fällen wird verzichten können. Das Aufbringen des Rostschutzes auf die Schlacke erscheint in allen Fällen sehr bedenklich, da sie durch Bewegung der Raupe infolge irgendwelcher Spannungen zu leicht abspringen kann, so daß dann die Naht völlig ungeschützt daliegt. Auch nach DIN 4100 § 9 Ziffer 6 ist die Schlacke zu entfernen.

e) Art der Schweißarbeit: Schließlich hängt der Zeitverbrauch beim Verschweißen einer Elektrode in diesem Zusammenhange sehr von der jeweilig vorliegenden Schweißarbeit (Vertikal- und Überkopf-Arbeit) ab. Hier werden besondere Elektroden am Platze sein, die sich leicht verschweißen und die doch gestatten, den Lichtbogen etwas länger zu ziehen, und deren Werkstoff eine genügende Kletterfähigkeit besitzt, so daß der Tropfen an der Elektrodenspitze das Bestreben zeigt, sich auch entgegen der Schwerkraft mit dem flüssigen Grundwerkstoff zu vereinigen. Es kann hier durch eine ungeeignete Elektrode

[7]) Ironage. Band 125, 1930, Seite 369/70.

— selbst wenn sie genügende Festigkeit hergeben sollte, was dann meist aber auch nicht der Fall ist — der Zeitverbrauch bedeutend in die Höhe gedrückt werden.

Doch selbst wenn man zunächst nur an Arbeiten auf horizontaler Lage denkt, können sich schon hier verschiedene Schwierigkeiten ergeben. Die sehr unangenehme Blaswirkung zum Beispiel, der der Lichtbogen ausgesetzt ist, und die sich bei Gleichstrom meist stärker bemerkbar macht, kann an manchen Stellen des Werkstückes das Schweißen beinahe unmöglich machen. Auch hier werden sich Elektroden, die einen sehr stabilen Lichtbogen haben, günstiger verhalten als andere. Der Zeitverbrauch kann in solchen Fällen plötzlich stark verändert werden, mit geeigneten Elektroden ist an der gleichen Schweißstelle von diesen Schwierigkeiten nichts zu merken.

Ebenso sei erwähnt das Schweißen an unzugänglicher Stelle. Es ist da öfters die Gefahr vorhanden, daß der Strom nicht an der Elektrodenspitze, sondern an einer anderen Stelle der Elektrode an eine unerwünschte Stelle des Werkstückes übertritt. Nur durch große Künste des Schweißens bei großem Zeitverbrauch wird hier mitunter eine Schweißung möglich sein. Da zeigen sich z. B. umhüllte Elektroden wesentlich unempfindlicher, da ja die Umhüllung keinen Stromdurchgang gestattet; mit ihnen wird man auch ohne größeren Zeitverbrauch zum Ziele kommen.

4. Arbeitsverbrauch.

An nächster Stelle steht bei Betrachtung der wirtschaftlichen Eignung von Elektroden der verschiedene Verbrauch an elektrischer Arbeit. Die verschiedene Arbeitsaufnahme liegt in 3 Punkten verankert. Der erste ist der Wirkungsgrad von Schweißmaschinen, der bei der vorliegenden Untersuchung außer Betracht bleibt.

Der zweite Punkt ist der Bedarf der Elektroden an Schweißstrom. Die verschiedenen Elektroden erfordern einen verschieden großen Schweißstrom. Sieht man sich die diesbezüglichen Vorschriften der verschiedenen Elektrodenfabrikanten an, die doch über die günstigsten Stromwerte ihrer eigenen Elektroden am besten Bescheid wissen, wird man über die großen Unterschiede, die sich dabei ergeben, erstaunt sein. Nach Lefring (siehe Fußnote *) zeigt sich, daß im allgemeinen durch Erhöhung des Strom-

wertes eine Verbesserung der Schweiße in jeder Beziehung eintritt. Immerhin verhalten sich hierin schon verschiedene Durchmesser verschieden, und die verschiedenen Elektroden ergeben dann wiederum noch Verschiedenheiten. Wenn man die Forschungsergebnisse von Lefring auf die Praxis anwendet, so ergibt sich, daß man sich im allgemeinen zunächst an die Angaben der Fabrikanten halten muß, daß man aber, wenn Grenzwerte für den Strom angegeben sind, nach Möglichkeit den größeren Stromwert nehmen soll. In gewisser Weise hängt damit die Lichtbogenspannung zusammen. Ergibt die eine Elektrode eine höhere Lichtbogenspannung als eine andere bei der gleichen Stromstärke, so wird bei der Elektrode mit der höheren Spannung die Lichtbogenleistung und damit auch die aufgenommene Leistung der Schweißmaschine größer. Doch sind diese Lichtbogenspannungs-Schwankungen in Wirklichkeit so gering, daß man sie in der Regel wird vernachlässigen können.

Der dritte Punkt, der für die Arbeitsaufnahme der Schweißmaschine entscheidend ist, ist die Arbeitszeit. Es ist nicht gesagt, daß eine Elektrode, die einen größeren Schweißstrom erfordert, auch eine erhöhte Arbeit verbraucht. Zwar ist natürlich die aufgenommene Leistung höher; da aber meist dadurch die Schweißarbeit herabgedrückt wird, so kann die Arbeit wieder niedriger werden.

5. Unabhängigkeit vom Können des Schweißers.

Eine Elektrode, die, auch von einem ungeschickten Schweißer oder Anfänger verschweißt, stets ein gutes Ergebnis liefert, wird dem Betriebe sehr willkommen sein. Dieses gute Ergebnis kann sich in hohen Festigkeitswerten ausdrücken, dann aber auch darin, daß die Elektrode sich auch von Anfängern leicht wirtschaftlich verschweißen läßt. Das Letzte ist in diesem Kapitel von höherem Interesse. Es ist klar, daß ein ungeschickter Schweißer durch die unregelmäßige Länge des Lichtbogens und die zittrige Bewegung der Elektrodenspitze einen höheren Abbrand- und Spritzverlust bei einer bestimmten Elektrode haben wird als ein geschickter Schweißer. Auch wird ein schlechter Schweißer den Lichtbogen öfters abreißen lassen oder öfters mit der Elektrodenspitze kleben bleiben, wodurch wiederum Schweißzeit und Stromverbrauch in die Höhe gedrückt werden.

Wenn nun eine Elektrode auf solche ungeschickten Hände weniger reagiert als eine andere, wird das zunächst als ein Plus für diese Elektrode zu werten sein. Doch spielt dieser Punkt heutzutage noch keine besondere Rolle; denn man wird heute im Zeichen der großen Arbeitslosigkeit, wo es genügend gute Schweißer gibt, grundsätzlich nur gute Kräfte beschäftigen. Aber selbst wenn man den heutigen Ausnahmezustand der Arbeitslosigkeit nicht beachtet, wird man die Unabhängigkeit vom Können des Schweißers in Richtung der wirtschaftlichen Bewertung der Elektrode erst dann in Betracht ziehen müssen, wenn es gelernte Elektroschweißer gibt, die eine regelrechte Lehrzeit als Schweißer durchgemacht haben, und die dann auf Grund von Tariflöhnen einen höheren Lohn beanspruchen als angelernte Leute, wie sie heute im allgemeinen verwendet werden. Wenn man heute einem Schweißer einen höheren Lohn bewilligt, so tut man das, von Ausnahmen abgesehen (Vorführungsschweißer), zum größten Teile nur deshalb, weil der Mann eine gewisse Erfahrung in bezug auf Dinge hat, die direkt mit dem Schweißen keinen Zusammenhang haben, die aber für das Gelingen des Ganzen von großer Wichtigkeit sind; das ist z. B. das Beherrschen der Schweißspannungen, das sind Erfahrungen über Arbeitsvorbereitung, Reihenfolge der einzelnen Schweißarbeiten usw. Das hat aber eigentlich nicht der Schweißer zu erledigen, sondern der Schweißmeister bzw. der Schweißingenieur. Die höhere Bezahlung dieses Schweißers ist also berechtigt, da er eine zum Teil mehr verantwortliche Tätigkeit ausübt. Diese Verhältnisse kann man natürlich hier nicht berücksichtigen, da sie einen Sonderfall darstellen. Es ist daher bei der vorliegenden Untersuchung der Einfluß des Könnens des Schweißers auf die Wirtschaftlichkeit des Verschweißens von Elektroden nicht näher in Betracht gezogen worden.

B. Durchführung und Ergebnisse der wirtschaftlichen Prüfung.

Um zu zeigen, wie eine solche Prüfung der Wirtschaftlichkeit von Elektroden vorzunehmen ist, und wie die Bewertung zu erfolgen hat, wurden als praktische Beispiele 8 Elektroden untersucht mit den Kurzzeichen A bis H, entsprechend der Gliederung der Elektroden in Kapitel II (s. Zahlentafel Nr. 2). Sämtliche Proben wurden von dem gleichen Schweißer an der gleichen Maschine durchgeführt; statische Charakteristik siehe Abb. 1.

Die Polarität sowie die Stromeinstellung wurde nach Vorschrift der entsprechenden Elektroden-Hersteller gewählt. Die größte Länge der verwendeten Elektroden war 450 mm. Da die Einkaufslänge der Elektroden verschieden ist, die Beurteilung aber wesentlich von der Länge der Elektroden beeinflußt wird, muß man sich für die Untersuchung auf eine bestimmte Länge festlegen. Es empfiehlt sich dabei, die größte Länge der verwendeten Elektroden zu nehmen, d. i. 450 mm. Da aber manche von den untersuchten Elektroden auch in der Länge von 1000 mm im Handel zu haben sind, ist deswegen und auch um den Einfluß der verschiedenen Bezugslängen zu zeigen eine zweite Durchrechnung auf die Länge von 1000 mm vorgenommen worden; in Tafel Nr. 6 sind, um wiederholende Rechnung zu vermeiden, nur die Ergebnisse niedergelegt.

1. Abbrand-, Spritz- und Endverluste.

Da diese Verluste für die Ermittlung aller übrigen Kosten sehr wesentlich sind, muß man sie zu allererst feststellen.

a) Abbrand- und Spritzverluste. Man kann diese Verluste auf verschiedene Weise ermitteln. Die verbreitetste Art ist die, auf ein vorher gewogenes Blech eine Raupe niederzuschmelzen und dann nach dem Schweißen wieder zu wiegen. Hat man die Elektrode vor dem Schweißen auch gewogen, so kann man ein Sollgewicht feststellen, das Ist-Gewicht ist auch gemessen, die Differenz beider Werte ist der Verlust. Dieses Verfahren gibt im allgemeinen zu günstige Werte, indem die Spritzer mitgewogen werden, die auf das Blech fallen. Außerdem streuen diese Ergebnisse, da sie von der Reinigung des Bleches nach dem Schweißen abhängig sind.

Nach verschiedenen Vorversuchen wurde hier folgende Anordnung gewählt: Es wurden von einem 15 mm starken Blech etwa 15 bis 20 mm breite und genügend lange Streifen abgeschnitten. Auf diese Streifen wurden die Elektroden niedergeschmolzen, nachdem Elektrodengewicht und Streifengewicht festgestellt waren (Zahlentafel Nr. 4). Durch späteres Reinigen und Wiegen wurde wieder das tatsächliche Gewicht ermittelt: die Differenz ergibt den Verlust. Durch diese schmalen Blechstreifen wurde wirksam verhindert, daß Spritzer auf die gewogene Unterlage fielen und dadurch wieder mitgewogen wurden. Alle

diese Spritzer dürfen nicht mitgerechnet werden, sie stellen unter allen Umständen einen Verlust dar, da sie ja nicht in die Naht, wo sie eigentlich hingehören, gelangen. Natürlich ist besondere Aufmerksamkeit beim Schweißen notwendig, damit nicht Schweißgut von dem Blechstreifen herunterfließt.

Diese schärfere Prüfung hatte im Gefolge, daß die Spritzverluste in Prozenten größer ausfielen als man im allgemeinen angegeben findet. Will man die Spritzverluste zu Kalkulationszwecken ermitteln, so wählt man lieber Arbeiten, die den praktischen Arbeiten mehr angepaßt sind; man wird dann zwei solche Blechstreifen durch Stumpf- oder Kehlschweißung verbinden und dann messen. Die Streuung der Ergebnisse ist gering. Im übrigen ähneln diese Ergebnisse denjenigen der Untersuchungen von Lefring; und zwar hauptsächlich nach zwei Richtungen hin. Aus der Tafel Nr. 4 ist nämlich erstens zu erkennen, daß die Spritzverluste im allgemeinen von der Schweißstromstärke abhängen. Am deutlichsten macht sich das bemerkbar bei Vergleich der blanken Elektroden A und B. Zum zweiten zeigt sich auch hier wieder, daß die Spritzverluste eigenartigerweise bei dickumhüllten oder umwickelten Elektroden größer sind als bei den blanken Elektroden; vermutete Gründe: andere allerdings vorgeschriebene Polarität, Eingehen von Elektrodenwerkstoff in die Schlacke.

Dann zeigt die Untersuchung beim Vergleich der Elektroden A mit C, daß die gleiche Elektrode in blankem Zustande geringere Spritzverluste hat als in umhülltem, obgleich die Stromstärken die gleichen waren. Die Elektrode B zeigt beim Vergleich mit Elektrode D ein umgekehrtes Verhalten. Wenn vielleicht auch die Anzahl der Versuche zu gering war, um daraus endgültige Schlüsse über das Verhalten von blankem Draht zu umhülltem ziehen zu dürfen, so kann man doch wohl auf Grund der Versuche angeben, daß, da die Verluste von den Beimengungen des Drahtwerkstoffes und von der Umhüllung abhängen, eben eine gewisse Übereinstimmung zwischen Elektrodenkern und Umhüllung vorhanden sein muß, wenn eine Verringerung der Spritzverluste erzielt werden soll.

b) Endverluste: Um gleiche Versuchsbedingungen zu schaffen, wurden die Einspann-Enden bei allen Elektroden gleich lang gehalten = 20 mm = 2 g. Um die dadurch auftretenden Ver-

luste vergleichen zu können, muß man diese Gewichte in Prozenten von dem Gesamtgewicht der ganzen Elektrode umrechnen. Je nach der verschiedenen Länge der einzelnen Elektroden ergeben sich da verschiedene Werte, die natürlich bei den kürzesten Elektroden am größten sind.

c) Gesamtverluste: Den Gesamtverlust erhält man durch Addition der beiden Teilverluste (s. Zahlentafel Nr. 4). Dieser Verlust bezieht sich aber nur auf eine Elektrode von einer Länge, wie sie untersucht worden ist. Es wäre falsch, wollte man diesen Verlust für den Hauptvergleich benutzen. Denn wie eben gezeigt, verändert sich ja der Einspannverlust mit der gegebenen Elektrodenlänge. Es wurde daher in der Tafel Nr. 5 der Spritzverlust, der von der Elektrodenlänge unabhängig ist, direkt aufgenommen; das Abfallende in mm je Stück wurde dagegen umgerechnet auf die Bezugslänge, also in der Tafel Nr. 5 auf 450 mm

$$f = \frac{450 \cdot e}{a},$$

wobei f das gesuchte Abfallende in mm, e das konstante Abfallende je Stück in mm und a die jeweilige Elektrodenlänge in mm ist. Eine Umrechnung in die zugehörigen Gewichte erübrigt sich, da nur der Prozentanteil des Verlustes gesucht ist. Drückt man diese Längen f in Prozenten der Bezugslängen aus, $\frac{f \cdot 100}{450}$, so erhält man den prozentualen Abfallendverlust g, der wie Zahlentafel Nr. 5 zeigt, von 4,44 bis 6,06 schwankt. Nun können die Spritzverluste in Prozenten mit den Abfallendverlusten in Prozenten zu dem prozentualen Gesamtverlust zusammengefaßt werden.

2. Elektrodenkosten.

Die Kosten der verwendeten Elektroden sind in Zahlentafel Nr. 3 zusammengestellt. Diese Werte sind umgerechnet worden auf die Bezugslänge von 450 mm, und zwar durch

$$c = \frac{b \cdot 450}{a},$$

wobei b den Einkaufspreis der Elektroden in Rpf. je Stück in Einkaufslänge und a die Einkaufslänge der Elektroden bedeutet. Diese Umrechnung ist für den vorliegenden Vergleich möglich und auch wegen der gleichen Bezugslänge notwendig.

Die Berücksichtigung der Gesamtverluste bei den Einkaufskosten nimmt man wie folgt vor: Hat eine Handelselektrode ein Gewicht von x Gramm und der Werkstoff dieser niedergeschmolzenen Elektrode nur das Gewicht y Gramm, so ist x – y der Gesamtverlust, oder $y = u \times x$, wobei u (stets kleiner als 1) den Ausnutzungsfaktor der Elektrode darstellt. $u = y/x$.

Für y Gramm Nahtgewicht sind x Gramm Handelselektroden notwendig
„ 1 „ „ „ $x/y = 1/u$ „ „ „
„ x „ „ = dem Gewicht der effektiven Elektrode sind x . 1 u Gramm Handelselektroden notwendig.

x Gramm Nahtgewicht stellen aber das Gewicht der effektiven Elektrode dar; es ist also gleich x/u.

Zu dem gleichen Ergebnis kommt man mit folgenden Gedankengängen: Die Gesamtverluste müssen durch das Verschweißen einer entsprechenden Länge einer neuen Elektrode gedeckt werden. Dieses neue Stück hat aber wiederum prozentual den gleichen Verlust wie die alte Elektrode, der wiederum durch ein Zusatzstück gedeckt werden muß. Da jedes Zusatzstück prozentual den gleichen Verlust hat, so ergibt sich hier eine Reihe, deren Glieder durch Multiplikation mit einem gleichen Faktor, eben der Verlustziffer, auseinander entstehen. Da dieser Faktor kleiner als 1 ist, ist diese ganze Reihe ihrem Aufbau nach eine abnehmende geometrische Reihe. Die Summe dieser unendlich vielen einzelnen Glieder stellt dann den gesamten Elektrodenbedarf dar, der notwendig ist, um an Gewicht den gleichen Schweißwerkstoff zu erhalten, den die Elektrode vor dem Schweißen hatte. Das ist nach früheren Begriffsbestimmungen die „effektive Elektrode".

Rechnerisch erhält man das Gewicht der effektiven Elektrode durch die Summenformel der geometrischen Reihe (die Buchstaben haben keine Beziehung zu den Bezeichnungen der Tafel)

$$s = \frac{a}{1 - q}.$$

Für a kann dann der Tafelwert c „Elektrodenkosten in Rpf. St. bezogen auf 450 mm Länge" eingesetzt werden. q bedeutet bei der geometrischen Reihe den Faktor, mit dem die einzelnen Glieder nacheinander multipliziert werden müssen; er ist hier gleichbedeutend mit dem Gesamtverlust Tafelwert h, allerdings nicht in Prozenten, sondern im Wert $^1/_{100}$. Da dieser Wert „1 – q"

häufig gebraucht wird, ist er in der Tafel Nr. 5 gesondert berechnet (siehe Zeile i). Man erhält auf diese Weise die Einkaufskosten der effektiven Elektroden A bis H, alle bezogen auf 450 mm Länge, u = c/i.

Interessant ist ein Vergleich der Zeilen b, c, u, die der Reihe nach darstellen die Stückkosten in der Einkaufslänge, dann die Stückkosten bezogen auf die Länge 450 mm, schließlich die effektiven Elektrodenkosten, die sich von den vorherigen Posten durch Berücksichtigung der Spritzverluste unterscheiden. Ein Vergleich der Einkaufskosten der einzelnen Elektroden ist also nach vorstehenden Darlegungen nur auf Grund der Zeile u möglich.

3. Zeitverbrauch.

Es wird der Zeitverbrauch für das Verschweißen einer „effektiven Elektrode" zugrunde gelegt. Man geht von der Ermittlung des Zeitverbrauchs für das Niederschweißen einer Elektrode in Einkaufslänge aus. Man ermittelt ihn mit einer Stoppuhr. Grundsätzlich wurden die Zeiten, die durch ein Abreißen des Lichtbogens entstehen, mitgemessen, ebenso die Zeiten, die zum Zünden des Lichtbogens notwendig sind. Die Ergebnisse der untersuchten Elektroden siehe Zahlentafel Nr. 7a und 7b. Die Elektroden konnten im allgemeinen ohne jedes Abreißen des Lichtbogens heruntergeschmolzen werden. Nur bei der Elektrode A riß bei dem Versuch Nr. 206 der Lichtbogen zweimal, bei dem Versuch Nr. 209 einmal ab. Bei der Elektrode F (Versuch Nr. 167 bis 170) wurde aus Versehen die Maschine auf höhere Stromstärke verstellt, weshalb der Versuch in den Nummern 171 bis 175 wiederholt wurde. Interessant ist hierbei (und deshalb wurden die Versuchsergebnisse Nr. 167 bis 170 in die Tafel aufgenommen) das starke Verkürzen der Schweißzeit, ein Beweis für die bekannte Tatsache, daß die Schweißzeit im wesentlichen von der Stromstärke abhängt.

Wichtig ist ferner noch, daß bei einem solchen Versuche die übrigen Daten, von denen die Schweißzeit abhängig ist, gleich gehalten werden müssen. Das bezieht sich zunächst auf die Größe und die Lage des Werkstückes und auf seine Vortemperatur. Weiter sei darauf hingewiesen, daß man bei einem solchen Versuche zwanglos die Verhältnisse nachahmen kann, unter denen

dann die Elektroden im Betriebe verschweißt werden. Wenn also später hauptsächlich nur kurze Nähte an stets kalten Stücken geschweißt werden sollen, so wird man es auch bei den Proben tun. Soll eine Elektrode in der Hauptsache für Vertikal- oder Überkopf-Arbeiten verwendet werden, so wird man auch hier nur vertikal und überkopf schweißen. Bei den vorliegenden Versuchen wurden die Elektroden auf gleich lange und gleich starke Winkel niedergeschmolzen, und zwar so, daß für jede Elektrode ein neuer kalter Winkel genommen wurde. Es zeigt sich dann auch, daß die so gewonnenen Ergebnisse infolge der annähernd gleichen Vorbedingungen nur sehr wenig streuen.

Weiterhin gehört zu gleichen Vorbedingungen eine möglichst gleiche Auswechselzeit für jede Elektrode. Durch das oben angegebene Auswechseln der Werkstücke ergab sich bei den Versuchen eine ziemlich hohe Auswechselzeit von durchschnittlich 51 sek. Doch wird man auch in der Praxis mit ähnlichen Ziffern arbeiten müssen, da dort der Schweißer in der Regel noch andere Funktionen zu erledigen hat.

Zur Zeitermittlung standen zwei Stoppuhren zur Verfügung. Mit der einen wurde die Schweißzeit für jede Elektrode gemessen, mit der anderen die gesamte Schweißzeit für jede Versuchsgruppe, die aus je 5 Einzelzeiten bestand. Die Einzelwerte wurden addiert, die Differenz zwischen Gesamtzeit minus Summe der Einzelzeiten ergab die Gesamt-Auswechselzeit. Diese durch die Anzahl der Auswechselzeiten dividiert, ergab die durchschnittliche Auswechselzeit für diese Versuchsgruppe. Aus den Zahlentafeln Nr. 7a und 7b ist zu ersehen, daß diese Angaben sehr wenig schwanken, nur die Versuchsgruppe der Elektrode E fällt mit ihren Zeiten heraus. Es lag an anderer Anordnung, die jedoch darauf wieder verlassen wurde, so daß sich wieder die alten Werte ergaben. Es ist noch darauf hinzuweisen, daß diese so ermittelten Zeiten nur für eine Elektrode von den je verschiedenen Einkaufslängen gelten. Man muß also die Zeiten zunächst auf die gemeinsame Länge von 450 mm beziehen (s. Tafel Nr. 5 Zeile 1). Nun muß aber noch die Zeit berücksichtigt werden, die für die kürzeren Elektroden zum Auswechseln für eine neue Elektrode notwendig ist. Man erhält diesen Zeitzuschlag durch folgende Überlegungen: Der Bruch $\frac{450}{a}$ stellt,

wenn a die Einkaufslänge der Elektroden ist, den Wert dar, wie oft die Länge der zu untersuchenden Elektrode in der größten Länge von 450 mm enthalten ist. Dieser Wert wird stets gleich oder größer als 1 sein. Zieht man von diesem Wert 1 ab, so erhält man die Angabe, wieviel öfter die zu untersuchende Elektrode gegenüber der größten Länge von 450 mm auszuwechseln ist. Multipliziert man diese Angabe mit der konstanten Auswechselzeit von 51,8 sek., so erhält man den gesuchten Zeitzuschlag in Sekunden.

Bei den blanken Elektroden von 1000 mm Länge ist in der Zahlentafel Nr. 6 keine Auswechselzeit eingeführt, sondern angenommen worden, daß der Schweißer eine solche lange Elektrode auf ungefähr 333 mm Länge einspannt, so daß er sie nur zweimal nachzuschieben braucht. Diese Nachschiebezeit wurde mit je 10 sek. eingesetzt.

Durch Addition erhält man die Gesamtzeit.

Die Berücksichtigung der Abbrand- und Spritzverluste geschieht ähnlich wie bei den Elektroden-Kosten. Durch Anwendung der oben genannten Formeln erhält man die „Effektivzeit", unter der die Zeit zu verstehen ist, die zum Verschweißen einer effektiven Elektrode von 450 mm Länge nötig ist (s. Zeile p Tafel Nr. 5).

Die Umwertung des Zeitverbrauches für das Verschweißen einer Elektrode in Kosten für eine Elektrode geschieht unter Zugrundelegung der Kosten für eine Schweißstunde (siehe Nomogramm Abb. Nr. 18). Zum Vergleich wurden bestimmte Annahmen gemacht: Es wurde mit einem Schweißlohn von 0,80 ℛ.𝒰 je Stunde gerechnet, weiter mit einem bescheidenem Unkosten-, Risiko- und Gewinn-Zuschlag von 138% auf den Schweißlohn = 1,10 ℛ.𝒰 je Stunde, schließlich wurde noch für Amortisation 0,50 ℛ.𝒰 je Stunde zugeschlagen. Damit erhält mon einen Gesamtaufwand von 2,40 ℛ.𝒰 für eine Schweißstunde = $^4/_{60}$ Rpf./sek. Multipliziert man nun die vorher ermittelten effektiven Zeiten mit dem Wert $^4/_{60}$, so erhält man die „effektiven Zeitkosten" (s. Zahlentafel Nr. 5 Zeile v), worunter also die Kosten zu verstehen sind, die durch die Zeit des Verschweißens einer effektiven Elektrode entstehen.

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Elektroden hinsichtlich des Kostenaufwandes für den Zeitverbrauch ist also nach obigen

Darlegungen nur auf Grund der Zeile v Zahlentafel Nr. 5 möglich. Überblickt man diese Zeile zu einem kurzen Vergleich, so erkennt man, daß die im Einkaufspreise teureren Elektroden an dieser Stelle einen geringeren Aufwand erfordern. Eingehendere Vergleiche sollen in dem späteren Kapitel „Zusammenfassung" angestellt werden.

4. Verbrauch an elektrischer Arbeit.

Diese Versuche wurden gleichzeitig mit dem Versuch für die Zeitermittlung vorgenommen (s. Zahlentafel Nr. 7a und 7b). Diese Messungen kann man durchführen mit einem Leistungsschreiber oder einem einfachen Drehstromzähler. Vorversuche mit einem Leistungsschreiber zeigten, daß die Gesamtangabe infolge der unvermeidlichen Schwankungen schlecht bestimmt werden kann. Außerdem werden kaum Werkstätten einen Leistungsschreiber besitzen; daher wurde auch hier nicht mit einem Leistungsschreiber gemessen, sondern es wurde die Umdrehungszahl der Zählerscheibe eines Drehstromzählers gezählt und diese dann umgerechnet in kWh. Hierbei ist also auch der Leerlauf-Verbrauch beim Auswechseln der Elektroden mitgezählt. Um Unterlagen zu erhalten, wie sich der tatsächliche Stromverbrauch für das Niederschmelzen einer Elektrode ohne Berücksichtigung dieses Leerlauf-Verbrauches verändert, wurden an der Versuchsmaschine außerdem noch Leerlaufleistungs-Messungen vorgenommen, die je nach Einstellung eine höchste Leerlaufleistung bis zu 3,22 kW ergaben. Für eine normale Auswechselpause von 51,8 sek. ergibt sich demnach ein Verbrauch von 0,0464 kWh. Bei den vorliegenden Versuchen wurde der Leerlaufverlust nicht abgezogen, und zwar aus dem Gedanken heraus, daß ja die Elektrode gerade unter möglichster Anpassung an Betriebsverhältnisse geprüft werden soll, und dort treten ja auch solche Verluste auf.

Die so erhaltenen Werte stellen zunächst nur den Verbrauch an elektrischer Arbeit je Elektrode von Einkaufslänge dar. Dieser Wert muß wiederum auf die Bezugslänge von 450 mm umgerechnet werden mit

$$\frac{450 \cdot r}{a},$$

wobei a die Einkaufslänge der Elektrode, r den Verbrauch an Kilowattstunden bedeutet. Die Abbrand- und Spritzverluste werden berücksichtigt wie oben. Man erhält dann damit den „Effektivverbrauch", worunter der Verbrauch an elektrischer Arbeit für das Verschweißen einer effektiven Elektrode zu verstehen ist.

Die Umwertung dieses Arbeitsverbrauches in Geldwert zum Einsetzen in die Haupttafel geschieht unter Berücksichtigung des Preises für eine Kilowattstunde. Hier ist als Preis 20 Rpf. kWh angenommen worden. Multipliziert man den Effektivverbrauch mit diesem Wert 20, so erhält man die effektiven Stromkosten, worunter die Kosten an elektrischem Strom, der zum Verschweißen einer effektiven Elektrode nötig ist, verstanden werden müssen.

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Elektroden hinsichtlich der Kosten ihres Stromverbrauches ist also nur auf Grund der Zeile w Zahlentafel Nr. 5 möglich. Eigenartigerweise hat die im Einkauf teuerste Elektrode auch den höchsten Stromverbrauch. Auch hierüber soll in dem nächsten Kapitel näher auf einen Vergleich eingegangen werden.

5. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Man addiert die einzelnen Punktwerte (Zeile u, v, w Tafel Nr. 5). Dann wird diejenige Elektrode am besten geeignet sein, die den niedrigsten Wert erreicht. Das würde in diesem Falle unter den gezeigten Versuchsbedingungen die Elektrode A sein, während die Elektrode B annähernd die gleichen Werte erreicht. Überblickt man das Gesamtergebnis, so zeigt sich, daß zwischen den Elektroden außerordentlich große Unterschiede bestehen, daß z. B. die teuerste Elektrode drei- bis viermal so teuer ist als die billigste. Allerdings ist dieser Unterschied lange nicht so groß wie der Einkaufspreisunterschied, ein Zeichen dafür, daß tatsächlich in der Anschaffung teurere Elektroden zum Teil den Preisunterschied ausgleichen. Besonders deutlich tritt dies hervor in den Abbildungen 2, 3, 4, wo die Prozentanteile der Kosten der einzelnen Elektroden in Diagrammen aufgetragen sind. (Abb. 2. Prozentanteil der Einkaufskosten der Elektroden an den Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Abbrand- und Endverluste. Abb. 3. Prozentanteil der Schweißzeitkosten der Elektroden an

den Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Abbrand- und Endverluste. Abb. 4. Prozentanteil der Stromkosten der Elektroden an den Gesamtkosten unter Berücksichtigung der Abbrand- und Endverluste.) Bemerkenswert ist noch, daß der prozentuale Anteil an den Stromkosten beinahe überall konstant ist.

Auf etwas Interessantes aus diesen Abbildungen sei noch hingewiesen, nämlich daß der prozentuale Kostenanteil schwankt mit der Bezugslänge. Man ersieht hieraus, daß man bei allen derartigen Untersuchungen die Bezugslänge konstant halten muß, will man gerechte Ergebnisse erzielen. Die Gründe hierfür dürften aus den Ableitungen, wie man zu den einzelnen Kosten gekommen ist, hinreichend klar sein. Die Werte zu den Abbildungen 2, 3, 4 stammen aus den Zahlentafeln Nr. 8 und 9.

Ein bildhafter Vergleich der einzelnen Elektrodensorten untereinander dürfte in den Abb. 5 und 6 klarer als in den vorherigen Abbildungen sein. (Abb. 5. Kosten beim Verschweißen der effektiven Elektroden A bis H. Die einzelnen Punkte sind auf die gemeinsame Länge von 450 mm bezogen. Abb. 6. Kosten beim Verschweißen der effektiven Elektroden A bis H. Die einzelnen Punkte sind auf die gemeinsame Länge von 1000 mm bezogen.) Im einzelnen fallen in Abb. 5 die niedrigen Zeitkosten der Elektroden B und D und G auf, wodurch die für diese Elektroden an und für sich hohen Beschaffungskosten in weitem Maße ausgeglichen werden. In Abb. 6 hat die niedrigsten Zeitkosten nur noch die Elektrode B, während ihre Schwester-Elektrode D nicht mehr durch besonders niedrige Zeitkosten auffällt. In beiden Abbildungen sticht noch besonders die Elektrode H durch ihren hohen Anschaffungspreis hervor.

Zum Schluß sei der Vollständigkeit halber noch kurz auf die Gegenfrage: wie kommt man von den Kosten für die effektive Elektrode auf die Kosten für die Elektrode von Einkaufslänge, eingegangen. Genaue Rechnungen müßten den gleichen Weg rückwärts tun, der diese Untersuchungen vorwärts geführt hat. Das wäre aber nur möglich, wenn man die einzelnen Versuchswerte über Zeit- und Stromverbrauch hätte. Da man sich aber in der Regel mit dem Ungefährwerte bei dieser Frage begnügen wird, so wird man zu einigermaßen genauen Anhaltswerten kommen, wenn man die Gesamt-Effektivkosten mit dem Wert „1– q“ multipliziert, und dann von den so erhaltenen ungefähren

Kosten für die Bezugslänge 450 mm die Reduktion auf die Einkaufslänge durchführt. Hat man den „1 – q"-Wert nicht, so kann man die Gesamt-Effektivkosten mit dem Durchschnittswert etwa 0,75 multiplizieren.

Ein Zahlenbeispiel mit der Elektrode A möge diese Rechnung näher erläutern. Aus der Tafel Nr. 5 Zeile x erhält man die effektiven Gesamtkosten der Elektrode A mit 20,94 Rpf. Der zugehörige 1—q-Wert wird aus der Zeile i mit 0,860 abgelesen. Mit 20,94 mal 0,860 = 18 Rpf. erhält man den Preis einer Elektrode von 450 mm Länge. Da diese Elektrode aber mit 333 mm eingekauft wird, muß noch die Reduktion auf die andere Länge durchgeführt werden $\frac{18 \cdot 333}{450} = 13{,}4$ Rpf. Will man sich diese Zahl anschaulich machen, so kann man sagen, daß, wenn man eine Elektrode von der Sorte A in handelsüblicher Länge von 333 mm verschweißen will, man an Elektrodenwerkstoff, an Zeit, an Strom 13,4 Rpf. aufwenden muß.

Es sei aber nochmals betont, daß es sich hierbei nur um einen ungefähren Anhaltswert, nicht um den genauen Wert handelt. Man erkennt das sofort, wenn man die Kosten einer Elektrode ohne jede Reduktion zusammenstellt.

Mit der Elektrode A sei auch das durchgeführt: Aus Tafel Nr. 5 liest man ab:

Einkaufskosten	1,0 Rpf.
Zeitverbrauch 113 sek., in Geldwert umgesetzt	$113 \times 4/60 = 7{,}6$ „
Stromverbrauch 0,194, „ „ „	$0{,}194 \times 20 = 3{,}9$ „
Zählt man die einzelnen Kosten zusammen, erhält man	12,5 Rpf.

also etwas niedriger als der obige Wert angegeben hat.

Stellt man diese Werte für alle Elektroden zusammen, erhält man

	A	B	C	D	E	F	G	H
Reduzierter Wert .	13,4	11,6	14,3	14,2	12,2	17,0	20,4	44,6
Tatsächlicher Wert .	12,5	10,9	14,3	13,4	11,2	16,1	20,3	44,6

Die Unterschiede sind gering, der reduzierte Wert liegt in der Regel etwas höher als der tatsächliche Wert. Es sei nochmals festgestellt, daß diese Werte nicht zu Vergleichszwecken dienen

dürfen, sondern nur für Kalkulationsfragen und ähnliches von gewissem Wert sind.

6. Auflösefähigkeit der Elektrode.

Wie vorher schon erläutert, kann eine Elektrode dadurch noch besondere Ersparnisse bringen, daß sie in der Lage ist, Verunreinigungen der Naht aufzulösen und unschädlich zu machen. Dies wurde hier durch Röntgenuntersuchung festgestellt. Sie wurde durchgeführt mit einer strahlensicheren Glühkathoden-Röntgenröhre Strichfokus nach dem Götzeprinzip 10 kVA (Siedekühlung). Heizung der Röhre durch einen hochspannungssicheren Trafo, Hochspannungsquelle ein Induktor mit Gasturbinen-Quecksilber-Unterbrecher. Ansicht und Schaltschema siehe Abb. 7 u. 8.

Die Hauptschwierigkeit in der Anlage lag in der Charakteristik des verwendeten Induktors begründet; bei großer Stromentnahme bricht die Röhrenspannung zusammen, das hat wiederum eine Veränderung der Härte der erzeugten Strahlen zur Folge; wird zu wenig geheizt, so kann bei bestimmter Induktor-Einstellung die Spannung zu hoch und dadurch die Röhre gefährdet werden. Der vom Induktor entnommene Strom (und damit seine Spannung) ist aber nicht nur von der Röhrenheizung abhängig, sondern noch von einigen anderen Faktoren, vor allem von den Sprühverlusten der Hochspannungsleitungen. Da diese Einflüsse ziffernmäßig schlecht festzulegen sind, gehörten am Anfang eine Reihe von Probeversuchen dazu, bis der Verfasser eine gewisse Einfühlung in die Eigenheiten der Anlage gewonnen hatte. Die verhältnismäßig kurzen Belichtungszeiten sind beachtlich.

Die Röntgenproben waren so hergestellt, daß aus einem 8 mm starken Bleche etwa 30 mm breite und 140 mm lange Streifen herausgeschnitten wurden. Ähnliche Streifen wurden aus einem Endstück entnommen, so daß die eine Seite mit Glühhaut bedeckt war. Ein Teil der blanken Streifen wurde der Luft ausgesetzt, bis sich die Ränder mit einer starken Rostschicht bedeckt hatten. Nun wurden die Streifen mit den Längskanten stumpf zusammengeschweißt, und zwar so, daß zunächst zwei Kanten gegenüberlagen, die mit Glühhaut bedeckt waren; dann war die andere Seite blank, dort wurde ein Streifen mit blankem Rand gegenübergelegt und angeschweißt; nun lag wiederum eine Kante mit

Glühhaut frei, der ein neuer Streifen mit der Glühhautkante gegenübergelegt wurde und so fort. Es entstanden also Schweißnähte von etwa 140 mm Länge, die abwechselnd die Glühhautkanten und die blanken Kanten gefaßt hatten. Am Schluß wurden dann noch die rostigen Streifen angeschweißt. Das ganze Gebilde bekam Streifenform von etwa 140 mm Breite und etwa 800 mm Länge. Durch die Querschrumpfspannungen wölbte sich der Streifen schwach nach oben. Es wurde mit jeder Elektrode eine Naht mit Glührändern, mit blanken Rändern und mit rostigen Rändern hergestellt. Unter jeder Naht war ein Stück Flachkupfer hinterlegt, so daß der flüssige Elektrodenwerkstoff nicht durchlaufen konnte. Damit die Versuchsbedingungen überall gleich waren, wurden die Zwischenräume überall gleich weit und die Anfangstemperatur der Streifen gleich gehalten. Nach jeder Schweißung wurde das Stück auf Anfangstemperatur abgekühlt. Schweißstromstärke und Polarität wurden nach Vorschrift eingehalten.

Diese Anordnung hatte den Vorteil, daß, da eine 9×12 cm-Röntgenkassette zur Verfügung stand, bei der Röntgendurchleuchtung zwei oder drei Nähte gleichzeitig geprüft werden konnten, ohne daß von der Seite her die außerordentlich störenden Überstrahlungen hereinkommen konnten. Die schwache Wölbung der Blechstreifen störte nicht, das Blech wurde durch Unterlagen immer flach auf der Kassette gehalten. Der Fokusabstand der Röhre betrug 40 cm, Belichtungszeit 60 sek. bei 100 kV, 3.5 mA und Verstärkerfolie. (Abbildung der Röntgenpositive siehe Abb. 9 bis 16).

Es besteht nun die Aufgabe, die Bilder so auszuwerten, daß man eine gewisse Reihenfolge in der Auflösungsfähigkeit der einzelnen Elektroden feststellen kann. In der Literatur sind in letzter Zeit eine ganze Reihe von Veröffentlichungen über das Prüfen von Schweißverbindungen mit Hilfe von Röntgenstrahlen erfolgt. Doch wurde eine ziffernmäßige Auswertung der Röntgenbilder nicht vorgenommen; an deren Stelle wurden mehr oder weniger subjektive Beobachtungen gesetzt. Von Kantner und Herr wurden Verfahren entwickelt, die mit Hilfe einer lichtempfindlichen Zelle die verschiedenen Schwärzungsgrad-Unterschiede des Negativs direkt in ein Diagramm übersetzen. Für stärkere Werkstücke mit abgearbeiteten Schweißwulsten liefert das Verfahren sicher sehr gute Ergebnisse, dagegen nicht für

unabgewulstete Schweißnähte, da sich durch die unvermeidlichen Stärkeschwankungen der Nähte zu starke Verzerrungen des Diagramms ergeben würden.

Hier wurde von dem Verfasser ein neuer Weg beschritten. Von Lefring wurde nachgewiesen, daß die schlimmsten Fehler einer Schweißnaht die Bindungsfehler sind. Bindungsfehler sind hier gleichzusetzen mit mangelndem Einbrand. Das heißt: der flüssige Elektrodenwerkstoff ist an den Werkstückrändern entlang gelaufen, ohne sie aufzulösen, so daß eine Bindung an dieser Stelle nicht eingetreten ist. Der Praktiker sagt dazu „die Schweißung hat nur geklebt". Die Blasen und Schlackeneinschlüsse spielen eine geringere Rolle. Außerdem sollte durch die Röntgenprüfung ja nachgewiesen werden, bis zu welchem Grade die Elektroden trotz gewisser Verunreinigungen eine Bindung mit dem Grundwerkstoff ergeben. Es lag daher nahe, hier nur die Bindungsfehler zu berücksichtigen. Diese kann man im Röntgenbilde leicht ermitteln. Sie machen sich bemerkbar durch feine weiße Striche, die nach der Blechseite hin glatt, nach der Nahtseite hin mehr oder minder ausgefranst sind. Diese Striche kommen so zustande, daß zwischen dem Blech und dem Elektrodenwerkstoff eben wegen der fehlenden Bindung ein Schlacken- oder ein Oxydhäutchen sitzt, wo dann die Röntgenstrahlen leichter hindurchkönnen und eine besonders intensive Schwärzung des Filmes an dieser Stelle hervorrufen. Da auf der Blechseite diese Haut glatt ist, auf der Nahtseite sich dagegen häufig noch Poren und Blasen befinden, tritt die oben geschilderte Erscheinung ein.

Nun wurde folgendes einfache Verfahren durchgeführt: Von den in einer Länge von 9 cm auf den Röntgenbildern vorhandenen Nähten wurden 8 cm abgetrennt. Denkt man sich nun diese Länge in 8 einzelne cm geteilt und betrachtet man den linken und den rechten Rand gesondert, so erhält man 16 Teilwerte, also eine genügend große Zahl, um daraus das Mittel bilden zu können. Es wurde dann in den einzelnen Teillängen die Länge der Bindungsfehler gemessen und zwar in cm (s. Zahlentafel Nr. 10).

An dem Beispiel der Röntgenprobe R 51 Abb. 17 sei das Verfahren näher erläutert. Es ist hier der Deutlichkeit und der leichten Übersichtlichkeit halber die Länge der Bindungsfehler direkt herausgezogen. Die außen parallel zur Naht verlaufenden Striche bedeuten die Länge und die Lage der Fehler, die senk-

recht zur Naht verlaufenden sind die Bezugslinien. Bei den einzelnen Strichen sind in Übereinstimmung mit der entsprechenden Spalte der Zahlentafel Nr. 10 die Längen in cm vermerkt. Es sei noch festgestellt, daß in Wirklichkeit die Fehler direkt vom Röntgennegativ mit dem Stechzirkel abgemessen wurden. Ebenso wie es hier mit der Abb. 17 R 51 schematisch vorgezeigt wurde, sind die Fehler der anderen Proben ermittelt worden (s. Zahlentafel Nr. 10).

Die Tiefe der Bindungsfehler ist auf diese Weise nicht berücksichtigt. Das erscheint aber nicht fehlerhaft; denn durch die Kerbwirkung macht sich ein Bindungsfehler so stark bemerkbar, daß seine Tiefe dann nur noch eine geringere Rolle spielt.

Addiert man die Werte für jede Probe und dividiert sie durch die Zahl der Teilwerte 16, so erhält man den Durchschnittswert. Er ist um so besser, je näher er an Null herankommt, denn das würde bedeuten, daß diese Elektrode überhaupt keinen Bindungsfehler aufweist. Der Durchschnittswert würde an sich schon ausreichend sein, um eine gewisse Wertung durchzuführen. Diese Prüfung ist also zunächst rein technischer Natur und hat zweifellos dadurch schon eine gewisse Bedeutung.

Man kann diese Prüfung aber auch wirtschaftlich auswerten durch folgende Gedankengänge: Man bildet den Begriff „Bindungsgüte". Es soll hierunter verstanden werden das durchschnittliche Verhältnis der gebundenen Stellen zu der gesamten Nahtlänge in Prozenten. Da die Nähte 8 cm lang waren, so kommen, da beide Nahtseiten betrachtet wurden, an möglicher Bindungslänge 16 cm heraus. Bedeutet s die Länge der ungebundenen Stellen in cm, so ist s 16 erstens der Mittelwert, dann aber auch, und das ist im Augenblick wichtiger, der durchschnittliche Bindungsfehler für 1 cm. Zieht man diesen Wert von 1 ab, bekommt man die durchschnittliche Länge der Bindung in cm für 1 cm. Multipliziert man schließlich den Ausdruck mit 100, so erhält man die Bindungsgüte in Prozenten.

Setzt man nun bei jeder Elektrode die Bindungsgüte der Schweißungen an den Glühhauträndern und den rostigen Rändern in das Verhältnis der Bindungsgüte der Schweißung an den blanken Rändern, so erhält man ein gewisses Güteverhältnis. Es drückt durch seine Größenordnung sofort aus, inwieweit die Elektrode in der Lage war, gegenüber den blanken Rändern auch durch die

Glühhaut und den Rost hindurchzudringen. Der Wert kann normalerweise nur kleiner als 1 sein. Würde er größer als 1 sein, bedeutete das, daß die Elektrode besser bei Rost oder Glühhaut einbrennen würde, was doch niemals der Fall sein kann. Die Folge, die man daraus ziehen müßte, wäre, daß bei dem Versuch ein Fehler vorgekommen ist, daß der Versuch wiederholt werden muß. In der niedergelegten Versuchsreihe ist dieser Fall nirgends eingetreten.

Faßt man durch Addition für jede Elektrode diese beiden Werte zusammen, so erhält man einen gewissen Durchschnittswert der Güteverhältnisse, der um so besser ist, je näher er an 2 herankommt. Den besten Wert erreicht die Elektrode F mit dem Wert 1,80. Man kann nunmehr hier eine „Reihenfolge" aufstellen, und wenn man alle diese letzten Werte in das Verhältnis zu dem besten Wert der Elektrode F setzt, kann man noch einen graduellen Unterschied der einzelnen Elektroden machen (s. Zahlentafel Nr. 10). Will man dann diese Folgerungen mit den Folgerungen des vorherigen Abschnittes verknüpfen, kann man wie folgt verfahren: Verwendet man die Elektrode F, so wird man sich zum Teil das Reinigen der Naht vor dem Schweißen, dort wo die DIN 4100 nicht anzuwenden ist, ersparen können, da die Elektrode in hohem Grade befähigt ist, Verunreinigungen aufzulösen. Man kann also die Elektrode etwas teurer bezahlen, da man Reinigungsarbeit spart. Ein Preisvergleich wäre möglich, wenn man Preisunterlagen über Reinigung von Nähten zur Verfügung hätte, die im praktischen Betriebe ja unschwer zu erhalten sind. Man könnte dann diese Erkenntnisse in der Vergleichstabelle direkt verwerten etwa in der Weise, daß man durch einen Versuch zunächst bestimmt, welche durchschnittliche Anschlußfläche eine Elektrode ergibt. Unter Anschlußfläche (in dm^2) sind bei Stumpfnähten Blechstärken — gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Abschrägungen — mal Nahtlänge, die durch eine Elektrode hergestellt wird, zu verstehen, bei Kehlnähten die Schenkellängen mal Nahtlänge. Dividiert man das durchschnittliche Bindungsgüte-Verhältnis (also in Tafel Nr. 10 die drittletzte Zahl) durch 2 (da 2 der Bestwert ist), zieht das Ergebnis von 1 ab und multipliziert die Anschlußfläche in dm^2 mit dieser Ziffer, so erhält man einen Ausdruck, der einen gewissen Grad für die bei jeder Elektrode notwendige Reinigungsarbeit darstellt. Ermittelt man dann den

Kostenaufwand für das Reinigen einer Fläche von 1 dm² und multipliziert ihn mit dem vorherigen Ausdruck, so erhält man den Kostenaufwand für Reinigen der Naht je Elektrode.

Ein Zahlenbeispiel mit der Elektrode A soll das noch näher erläutern: das durchschnittliche Güteverhältnis für die Elektrode A wird aus der Tafel Nr. 10 mit 0,57 abgelesen; dividiert durch 2 = 0,285; zieht man von 1 ab, erhält man 0,715. Man kann rund annehmen, daß eine Elektrode von 4 mm Durchmesser und 450 mm Länge bei einer Kehlnaht von 10 mm Schenkellänge eine Nahtlänge von 90 mm erreicht. Als Anschlußfläche erhält man somit $0{,}1 \cdot 0{,}9 \times 2$ (da 2 Schenkel vorhanden) 0,18 dm². Als Reinigungskosten sollen 4 Rpf. je 1 dm² angenommen werden. Man erhält also einen Kostenaufwand von $0{,}18 \times 4 \times 0{,}715 = 0{,}515$ Rpf. je Elektrode. Für die beste Elektrode F würde sich auf die gleiche Weise 0,072 Rpf. ergeben. Man kann diese Werte in der Hauptvergleichstafel mit addieren. Hier wurde davon abgesehen, weil, wie nochmals betont werden soll, solche Reinigungskostenwerte nur dort berücksichtigt werden dürfen, wo die Vorschriften DIN 4100 keine Anwendung finden, denn nach diesen Vorschriften ist ja die Reinigung der Schweißstelle unerläßlich.

7. Zahlenbeispiel.

Um die Bedeutung aller dieser vorstehenden Fragen darzulegen, sei an einem Beispiele eine Durchrechnung vorgenommen, die zeigen soll, in welcher Höhe Ersparnisse durch Verwendung geeigneter Elektroden gemacht werden können.

Bei einem Bauwerk wurden an Kosten errechnet 452 RM t ohne jegliche Aufwendungen für Schweißen.

Da 145 t insgesamt verbaut wurden, ergibt sich ein Gesamtpreis von

$$145 \times 452 = 65\,540 \text{ RM.}$$

Nun sollen im folgenden die Aufwendungen für das Schweißen berücksichtigt werden.

Nach Angabe wurden 4000 kg Elektroden 350 mm lang verbraucht[s]). Wären die Elektroden 450 mm lang gewesen, dann wären

[s]) Dieser ungewöhnlich hohe Elektrodenverbrauch stellt einen Ausnahmefall dar. Bei normalen Stahlbauwerken, insbesondere Brücken, wird der Elektrodenverbrauch ganz wesentlich geringer ausfallen. Das Beispiel wurde nur gewählt, um die Kostenunterschiede der Schweißung in Abhängigkeit von den Elektroden besonders auffällig darzulegen.

unter Berücksichtigung des Stückgewichtes von 44 g für 1 Elektrode 450 mm lang, 4 mm Durchmesser

$$4\,000\,000 : 44 = 91\,000 \text{ Elektroden}$$

gebraucht worden. Rechnet man mit einem durchschnittlichen Verlust von 25 % = 22700 Stück, so wären also nach obigen Darlegungen

$$91\,000 - 22\,700 = 68\,300 \text{ Stück „effektive Elektroden“}$$

verschweißt worden. Unter Zugrundelegung der Kosten der effektiven Elektroden der Sorten A bis H aus Zahlentafel Nr. 5 Zeile x ergibt sich für das Schweißen des gesamten Bauwerkes an Gesamtaufwendungen:

68300 mal Kosten für die effektiven Elektroden.

Durchgerechnet ergibt sich folgendes:

in 1000 RM.	A	B	C	D	E	F	G	H
Schweißkosten . .	14,3	14,4	16,6	17,2	15,6	22,5	21,5	47,8
Bauwerkskosten . .	65,54	65,54	65,54	65,54	65,54	65,54	65,54	65,54
Summe	79,84	79,94	82,14	82,74	81,14	88,04	87,04	113,34

Prozente der Schweißkosten an gesamten Kosten:

18,0	18,1	20,2	20,8	19,2	25,6	24,6	42,2

Bei der billigsten Elektrode A spart man gegenüber der Verwendung der anderen Elektroden an Gesamtschweißkosten in 1000 RM:

0,0	0,1	2,3	2,9	1,3	8,2	7,2	33,5

Man erkennt aus dieser Zusammenstellung, daß es sich um zum Teil recht bedeutende Ersparnisse handelt. Der zusätzliche Kostenaufwand bei der Elektrode B ist so geringfügig, daß man ihn wohl ganz vernachlässigen kann. Da wahrscheinlich die Elektrode B gegenüber A erhöhte Festigkeit haben wird, würde man sogar zweckmäßig die Elektrode B verwenden. Will man, weil die Schweißer es nicht anders gewohnt sind, oder weil mit Wechselstrom geschweißt werden soll, nicht mit blankem Draht arbeiten, würde man am besten die Elektrode E nehmen.

Durch dieses Beispiel dürfte wohl die Wichtigkeit der vorliegenden Untersuchungen, die sich natürlich noch über weitere Elektroden erstrecken könnten, ohne daß freilich etwas grundsätz-

lich Neues gefunden würde, genügend vor Augen geführt sein. Nur durch Verwendung der geeigneten Elektrode vor allem in wirtschaftlicher Hinsicht kann auch die Wirtschaftlichkeit der gesamten Schweißung gewährleistet werden.

Die Durchrechnung nach Zahlentafel Nr. 5 kann man sich ersparen, wenn man sich ein Nomogramm nach Abb. 18 anlegt. Man denke sich bei dieser Abbildung den dick-umrahmten Teil gleich dem links-danebengezeichneten Schieber herausgeschnitten. Das Nomogramm ist für alle Elektroden bei einem Einkaufspreise von 1 bis 10 Rpf. Stück passend, für die teureren Elektroden müßte ein anderes Nomogramm mit entsprechend anderen Maßstäben aufgestellt werden. Die waagerechten Skalen sind aufgestellt unter den in der vorliegenden Arbeit getroffenen Voraussetzungen, also daß an Zeitkosten 4 Rpf. min. entstehen und daß 1 kWh 20 Rpf. kostet. Da diese Werte für jeden Betrieb zwar verschieden, aber doch fest sind, empfiehlt sich grundsätzlich die Beibehaltung dieser 3 festen Skalen. Man berücksichtigt die anderen Werte, indem man die Skala der effektiven Elektrodenkosten auf die anderen Skalen legt und sie so weit verschiebt, bis die Zeitkostenzahl (Rpf. 1 min.) bzw. die Kosten für $^1/_{10}$ kWh auf den Anfang der Skala zu liegen kommen (in vorgenanntem Beispiele beginnen die Skalen mit 4 bzw. 2 Rpf.).

Die Bedienung des Nomogramms sei an dem Beispiel der Elektrode B erläutert: Da die Elektrode B eine Länge von 350 mm hat, stellt man den Schieber unten auf die Länge von 350 mm ein. Nun geht man von den Einkaufskosten der Elektrode B in Höhe von 3,1 Rpf. waagerecht bis zum Schnitt mit der senkrechten Geraden des Gesamtverlustes für diese Elektrode = 28,8 %, sodann weiter unter 45 Grad nach unten und liest dann an der ersten Skala die effektiven Elektrodenkosten mit 5,6 Rpf. ab. Bei Ermittlung der Zeitkosten liest man von der beweglichen Skala mit 1,14 min Stück zunächst an der rechten festen senkrechten Skala die Grundzeit mit 1,46 min. ab und addiert hierzu den Zeitzuschlag, der sich dadurch ergibt, daß man die Einstellmarke an der linken Seite der beweglichen Skala auf die Auswechselzeit in min. einstellt und oben an dem Strich 350 mm Länge den Zeitzuschlag mit 0,245 abliest. Die Summe, die man im Kopfe bildet, ist 1,71. Man geht dann von dieser Zahl der rechten festen Skala wieder waagerecht bis zur obengenannten Verlustziffer, auf die gleiche Weise wie oben nach

unten, und liest als Zeitkosten 9,6 Rpf. ab. Die Stromkosten erhält man, indem man den Schieber wieder auf die 350-Marke einstellt, weitergeht wie oben und an der dritten Skala den Wert 5,76 Rpf. abliest. Die drei Werte werden dann addiert.

C. Anwendung des Begriffs „effektive Elektrode" auf die Kalkulation von Schweißungen.

Das Zahlenbeispiel III B 7 zeigt sofort auch, wie wertvoll der neugebildete Begriff „effektive Elektrode" für Kalkulationszwecke sein kann.

Man geht dann so vor, daß man die Kosten 1 effektiven Elektrode einschließlich eines einmaligen Auswechselns ermittelt. Eine Reduktion der einzelnen Werte auf eine Bezugslänge ist nicht notwendig. Da hier die Auswechselzeit konstant angenommen war mit 51,8 sek., so würde man nur zu den Kosten von jeder effektiven Elektrode die Zeitkosten für 51,8 sek. - 3,46 Rpf. zuzuschlagen haben.

In der Praxis würde man umgekehrt vorzugehen haben: Man bestimmt sich zunächst den Ausnutzungsfaktor der jeweiligen Schweißwerkstatt. Unter Ausnutzungsfaktor ist zu verstehen die gesamte Arbeitszeit dividiert durch die reine Schweißzeit. Diese Ermittlung nimmt man am genauesten vor mit einem Uhrwerk (oder auch Synchronuhr), das nur läuft wenn geschweißt wird (Schaltschema siehe Abb. 19). Setzt man diese Zeit in das Verhältnis zu der gesamten Arbeitszeit, so erhält man den Ausnutzungsfaktor. Bei Stahlbauten ist er ungefähr = 1,8. Bei der Elektrode B würden sich dann folgende Verhältnisse ergeben:

Reine Schweißzeit	68,4 sek.
Gesamtzeit = 1,8×68,4 =	123,0 „
Auswechselzeit also =	54,6 „

Die Kosten einer effektiven Elektrode B in Handelslänge von 350 mm betragen also:

Einkaufskosten 3,1 Rpf., effektive Kosten 3,1 0,712 = 4,4 Rpf.
Schweißzeit bei Ausnutzung 1,8 = 123 sek.,

effektive Zeitkosten	= 11,5 „
effektive Stromkosten	= 4,5 „
Summe	20,4 Rpf.

Auch für die öftere Berechnung dieser Werte wird sich die Anlage eines Nomogramms nach Abb. 18 empfehlen.

Die effektiven Elektrodenkosten erhält man, wenn man von der festen senkrechten Skala ausgeht; die effektiven Zeitkosten indem man den Schieber mit der Ausnutzungszahl auf den Anfangspunkt des Diagramms einstellt und nun von der Schieber-Skala ausgeht. Bei den effektiven Stromkosten geht man wieder von der festen Skala aus. Die Ablesung der gesuchten Werte geschieht immer auf den waagerechten Skalen in der gleichen Weise wie oben. Die einzelnen Werte, von denen man dabei auszugehen hat, sind leicht ermittelt.

Diese Untersuchungen sind für alle verwendeten Elektrodendurchmesser und für alle vorkommenden Arbeiten mit genügender Genauigkeit durchzuführen. Denkt man dem Charakter der vorliegenden Untersuchung entsprechend an das Schweißen im Stahlbau, so ist durchzuführen für 1 Elektrodenmarke: je 1 Versuchsgruppe für horizontale, vertikale, Überkopf-Lage der Kehl- und V-Schweißung für jeden Elektrodendurchmesser. Nimmt man Elektrodendurchmesser 2, 3, 4, 5 = 4 verschiedene Durchmesser an, so erhält man $3 \cdot 2 \cdot 4 = 24$ Versuchsgruppen. Jede Versuchsgruppe wird zweckmäßig aus 5 einzelnen Versuchen bestehen. Es sind also zur Feststellung der Kosten für das Verschweißen der effektiven Elektroden $5 \cdot 24 = 120$ Elektroden zu verschweißen, eine Arbeit, die in etwa 6 Std. erledigt sein dürfte. Aus den Gruppen erhält man dann die 24 Grundwerte der Kosten für die effektiven Elektroden.

Da nach früheren Überlegungen das Gewicht der effektiven Elektrode gleich dem Nahtgewicht ist, braucht man zur Kalkulation nur das Nahtgewicht zu errechnen, um daraus die Anzahl der notwendigen Elektroden und weiterhin die Kosten der Schweißarbeit zu bestimmen. Man wird vielleicht einwenden, daß das theoretische Nahtvolumen nicht übereinstimmt mit dem praktischen Schweißvolumen. Diesen Einwand kann man durch den Hinweis entkräften, daß zur gewünschten Spannungsfreiheit und geringsten Verwerfung erstens eine äußerst sorgfältige Vorbereitung, zweitens eine genaue Form- und Maßhaltigkeit der Nähte unbedingt notwendig ist. Macht man die Nähte zu schwach, so ist die Festigkeit ungenügend, macht man sie unnötig stark, so werden sich, abgesehen von unnötiger Verschwendung, auch die Spannungen

und Verwerfungen erhöhen. Wie weit man dabei gehen kann, zeigen die neueren Vorschriften des Germanischen Lloyd, in denen die Nahtabmessungen zum Teil bis zu $^1/_2$ Millimeter genau vorgeschrieben sind.

D. Eignung der Elektrode hinsichtlich der äußeren Beanspruchung der Naht.

Es wurde am Anfang der vorliegenden Untersuchung dargelegt, daß in erster Linie bei Beurteilung von Elektroden die Widerstandsfähigkeit ihrer Nähte gegenüber äußeren Beanspruchungen den Ausschlag gibt. Erst wenn darüber keine Bedenken mehr am Platze sind, kann die wirtschaftliche Beurteilung der Elektrode vorgenommen werden. Der Vollständigkeit halber soll nunmehr in Form einer kurzen Übersicht auf die Fragen der Beurteilung der Festigkeits-Eigenschaften der Elektroden eingegangen werden.

1. Festigkeit der Schweißnähte.

a) Normaler Baustahl: Die Festigkeitswerte von Schweißverbindungen an normalem Baustahl (St. 00.12 und St. 37.12) sind heute durch die bindenden Vorschriften der DIN 4100 sowie durch die inhaltlich gleichen Vorschriften des Preußischen Ministers für Volkswohlfahrt vom 10. Mai 1931 festgelegt. Es ist ausdrücklich angeführt, daß diese Werte zunächst nur für die oben genannten beiden Stahlsorten gelten.

b) Baustahl St 52: Er ist im wesentlichen auf Anforderungen der Reichsbahn hin von verschiedenen Hüttenwerken entwickelt worden. Die ersten Versuche, einen höherwertigen Baustoff zu schaffen, ergaben den heute für die Schweißung aufgegebenen St 48, dessen Bruchfestigkeit in den Grenzen zwischen 48 und 58 kg mm² lag. Die Streckgrenze sollte bei 29 kg mm² liegen. Dieser Baustoff hatte einen Kohlenstoffgehalt bis zu 0,3 %. Gefürchtet war hier die mitunter bei dünnen Profilen auftretende Lufthärtung[9]). Während bei St 48 die zulässigen Spannungen um 30 % gegen normalen Baustahl erhöht werden konnten, beträgt diese Erhöhung bei dem später eingeführten silizium-

[9]) Vorschriften der Reichsbahn für die Lieferung von St 48 Nr. 91915. Reichsbahn-Zentralamt Berlin.

haltigen Baustahl St Si 50 %[10]); dieser Baustahl ergibt aber bedeutende Schwierigkeiten beim Schweißen und er soll daher nicht näher behandelt werden, zumal er heute verdrängt ist durch den St 52[11]), für den ausdrücklich eine gute Schmelzschweißbarkeit verlangt ist[12]).

Während am Anfang gleich eine große Anzahl der verschiedensten Arten von St 52 herauskam, kann man nach Hochheim jetzt im wesentlichen 3 Arten des Baustahls St 52 unterscheiden: die Stähle, die mit Silizium Mangan Kupfer legiert sind; die, die mit Chrom Kupfer Silizium legiert sind und die, die mit Molybdän Silizium Kupfer legiert sind.

Die Prüfungen der Elektroden für die Schweißung von Baustahl St 52 können ebenso durchgeführt werden wie an normalem Baustahl. Jedoch sind Mindestfestigkeiten, die diese Schweißungen haben müssen, nirgends genannt. Man wird sich daher gegenwärtig mit dem Nachweis begnügen, daß die vorliegende Blechsorte sich mit der bestimmten Elektrode schweißen läßt. Selbst wenn dann eine Elektrode keine bedeutende spezifische Festigkeit ergeben würde, so würde sie doch grundsätzlich nicht ungeeignet für die Schweißung an St 52 sein, denn man brauchte eben nur entsprechend mehr Schweißwerkstoff an der Naht vorzusehen.

Es sind nun von diesem Gesichtspunkt aus eine Reihe Elektroden an St 52 geprüft worden. Zu den Versuchen ist zu bemerken, daß sie auf einer ähnlichen Einrichtung durchgeführt wurden, wie sie Lefring benutzt hat (Fußnote 5) Abb. 20.

[10]) Vorschriften der Reichsbahn für die Lieferung von St Si Nr. 91936 und Nr. 91954.

[11]) Vorschriften der Reichsbahn für die Lieferung von St 52 Nr. 91996.

[12]) Das was von diesen Vorschriften für die vorliegende Untersuchung wesentlich ist, sei hier erwähnt. Von Festlegung der chemischen Beschaffenheit hat man abgesehen, um der erzeugenden Industrie keine unnötigen Fesseln aufzuerlegen. Doch hat man die obere Grenze für den Kohlenstoffgehalt bei Stärken bis zu 18 mm mit 0,2 %, bei größeren Stärken bis zu 0,25 % festgelegt. Die Streckgrenze soll bei den kleineren Stärken mindestens 36 kg mm², bei den größeren mindestens 35 kg mm² betragen. Bruchdehnung mindestens 20 % beim langen Proportionalstab und längs der Walzrichtung, quer zur Walzrichtung mindestens 18 %. Die Biegeprobe nach DIN 1605 soll einen Biegewinkel von 180 Grad liefern. Die zulässigen Beanspruchungen können um 50 % gegen St 37 erhöht werden, so daß z. B. die zulässige Zugspannung 2100 kg mm² beträgt. Das Richten der Stücke kann in kaltem Zustande vorgenommen werden, während Biegungen in Rotglut ausgeführt werden müssen. Sorgfältig ist jede Bearbeitung in der Blauwärme und jedes Abschrecken zu unterlassen.

Als Stromquelle diente ein Transformator. Als Bleche standen drei Sorten zur Verfügung mit den Kurzzeichen x, y, z. Chemische Beschaffenheit siehe Zahlentafel Nr. 11. Alle Proben wurden von dem gleichen Schweißer geschweißt. Es wurden immer drei Proben zusammenhängend geschweißt, dann wurden sie zertrennt und so abgearbeitet, daß der eigentliche Schweißquerschnitt einigermaßen deutlich gemessen werden konnte, siehe Zahlentafel Nr. 12. Es sollte durch diese Versuche nicht eine Elektrode gefunden werden, die ganz besonders hohe Festigkeitswerte ergibt, vielmehr sollte nachgewiesen werden, daß man mit einer ganzen Reihe von Elektroden an diesen Blechsorten recht brauchbare Festigkeitswerte erreichen kann. Die Festigkeitswerte sind an und für sich gering; man findet in Veröffentlichungen mitunter wesentlich höhere Werte. Dabei ist zu berücksichtigen, daß bei den vorliegenden Versuchen der Schweißer keine Gelegenheit hatte, sich auf diese Blecharten einzuarbeiten, sondern die Proben wurden ohne Vorversuche geschweißt. Diese Versuche sind also nicht als Parade-Versuche zu werten, sondern es sind Werte, die eben leicht erreicht werden können[13]).

2. Dehnung.

Die Frage, inwieweit Dehnung bei Schweißverbindungen notwendig ist oder nicht, hat heute einen sehr scharfen Meinungsstreit entfacht. Das ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß die Dehnung einer Schweiße grundsätzlich nur von der Elektrode abhängt und daß daher diese Frage die besondere Beachtung der Elektrodenfabrikanten wachgerufen hat.

Zunächst sei festgestellt, daß im allgemeinen (nicht immer!) blanke Elektroden eine geringere Dehnbarkeit der Schweißung liefern als umhüllte. Als Grund hierfür wird im allgemeinen die Stickstoffaufnahme des Elektrodenwerkstoffes aus der Luft angegeben. Nach Alexander[14]) wird durch den Lichtbogen der Stickstoff mit dem Sauerstoff verbunden, und dadurch gelangt er in das Schweißgut. Nach Daeves ist die Stickstoffaufnahme bei den blanken und den dünnumhüllten Elektroden gleich; nur durch starke Umhüllungen kann der Stickstoffgehalt herabgedrückt werden.

[13]) Elektroschweißung 1931. Heft 12, Seite 225.
[14]) Journal of the American Welding Society. November 1929.

Der Stickstoff findet sich in Form von Nitrit-Nadeln in der Schweiße wieder, wo diese Nadeln das Gefüge unterbrechen und daher die Dehnbarkeit der Schweiße herabsetzen. Da also die geringe Dehnbarkeit der Schweiße ein besonderes Kennzeichen dafür ist, daß die Naht mit blanken Elektroden geschweißt wurde, ergibt sich, daß die Vertreter von Firmen, die blanke Elektroden herstellen, behaupten, die Dehnung sei nicht notwendig, ja sogar vielleicht schädlich. So behauptet z. B. Daeves — Verfasser kann sich dieser Meinung nicht anschließen — (siehe umseitig), daß die Schweiße zunächst einmal eine hohe Festigkeit haben müsse, um Überbeanspruchungen in den benachbarten Werkstoff überzuleiten und die Schweiße von besonderen Spannungen freizuhalten; umgekehrt wäre es schädlich, denn dann würde sich die Schweiße mitdehnen und durch Querschnittsverminderung zum Riß neigen. Dagegen sagen die Vertreter der umhüllten Elektroden, daß infolge der unvermeidlichen Schrumpfspannungen die Schweiße möglichst hohe Dehnungsziffern haben müsse, da sonst durch Überlagerung der Schrumpfspannungen plus Betriebsspannungen eine Überbeanspruchung und damit ein Riß unvermeidlich wäre. Beide Gesichtspunkte haben in gewisser Hinsicht ihre Berechtigung.

Man wird die Lösung dieser Frage von einem anderen Wege aus entscheiden müssen. Hinweise dazu gibt Daeves an anderer Stelle, indem er sagt, daß die Frage der Dehnung abhängig ist von der Gestaltung der Schweißverbindung. Hierin kann man ihm rückhaltlos zustimmen. Z. B. wird eine Schweißverbindung, die einen langen Zugstab mit ruhender Belastung anschließt (Stumpf-Stirn-Naht, siehe Abb. 21) nur eine untergeordnete Dehnung zu haben brauchen, während man an die Kehlnähte, die an einem langen I-Blechträger zur Verbindung von Gurt und Steg gezogen sind (siehe Abb. 22), viel höhere Ansprüche hinsichtlich Dehnung stellen muß. Ja, es wird hier die Forderung am Platze sein, daß die Schweißung die gleiche elastische Dehnung hat wie die Bleche, wenn ein einwandfreies Zusammenarbeiten von Naht und Blech erreicht werden soll. Allerdings setzt man dabei voraus, daß die Naht spannungsfrei angebracht werden kann, eine Voraussetzung, die sich aber wegen der unvermeidlichen Schrumpfspannungen unmöglich verwirklichen lassen wird.

Und hier drängt sich noch ein anderer Gesichtspunkt auf, den meines Wissens Vandeperre zuerst veröffentlicht hat:

Es wird sich kaum eine Schweißung im praktischen Betriebe herstellen lassen, die völlig poren- und blasenfrei ist. Die einzelnen Blasen wirken aber als Kerben im Werkstoff. Da aber der Einfluß von Kerben hinsichtlich Verminderung der Festigkeit mit der Härte, der Sprödigkeit des Werkstoffes wächst, so ist klar, daß ein Werkstoff von großer Bruch-Dehnung von solchen Blasen geringer beeinflußt wird. Daraus leitet Vandeperre die Forderung ab, eine Schweißung sollte eine möglichst große Dehnung besitzen.

Dem Praktiker wird insofern eine Elektrode mit großer Dehnfähigkeit lieber sein, als er auch ein durch die Schrumpfspannungen verzogenes Stück nachrichten kann, ohne daß die Naht reißt. Dank der hohen bleibenden Dehnung wird diese Schweiße allen solchen Überbeanspruchungen standhalten.

Die amtlichen Vorschriften sowie DIN 4100 besagen über die Dehnung der Schweiße direkt nichts; vermutlich wohl deswegen, weil die einwandfreie Feststellung der Dehnung von Schweißgut sehr schwierig ist. Sie soll nach DIN 4100 durch den Biegeversuch festgestellt werden.

Die Dehnung läßt sich ziffernmäßig nur sehr schwer feststellen. Es ist nur möglich, wenn man reines Schweißmetall zur Verfügung hat. Diesbezügliche Vorschläge, die bekannt sein dürften, lauten: Man arbeitet ein stärkeres Blech auf eine längere Strecke bis über die Hälfte ab, füllt diese Rinne mit Schweißgut, arbeitet das Blech von der anderen Seite wiederum bis über die halbe Strecke ab, schweißt wieder voll und hat nun ein Stück reines Schweißmetall, das nach entsprechender Bearbeitung zu einem üblichen Biegungsversuch herangezogen werden kann. Oder man schweißt eine besonders große Lücke zwischen zwei Blechen voll. Zum Schutze des Abtropfens des Elektrodenmaterials legt man eine entsprechend starke Kupferplatte unter. Nachdem die Lücke geschlossen und bearbeitet ist, kann durch eingeritzte Striche in Verbindung mit einem Zugversuch die Dehnung festgestellt werden (Fußnote 5). Diese Methode hat den Nachteil, daß nur ein verhältnismäßig kurzes Stück zur Dehnungsermittlung zur Verfügung steht, wodurch leicht Fehlergebnisse gezeitigt werden können.

Die Eignung der Biegeprobe für Feststellung der Dehnung der Schweiße ist stark umkämpft gewesen. Durch die Untersuchungen

von Sexauer ist nachgewiesen, daß mit größerem Rollendurchmesser der Biegeprüfmaschine der erzielbare Biegewinkel steigt, daß an und für sich der erreichbare Biegewinkel bei steigender Blechstärke abnimmt, daß aber durch Mehrlagenschweißen bei stärkeren Blechen — wenn also mehrere Schweißraupen wegen der großen Stärke der Naht übereinandergelegt werden müssen — die Schweißung verbessert wird (durch das wiederholte Ausglühen wird das Gefüge verbessert), so daß ein größerer Biegewinkel erreicht wird. An anderer Stelle ist man zu ähnlichen Ergebnissen gekommen.

Ein anderer Haupteinwand gegen die Biegeprobe wurde von Jurczyk erhoben, der sagte, daß das Ergebnis sehr von dem verwendeten Bleche abhängt. Je nachdem, ob das Blech weicher oder härter als die Schweiße ist, wird die Schweiße mehr oder minder zur tatsächlichen Biegung und damit zur Dehnung herangezogen.

Alle diese Einwände sind durch die neue Vorschrift der DIN 4100 für eine relative Prüfung — und auf die kommt es letzten Endes an — erledigt, indem Rollendurchmesser, Rollenabstand, Stempelstärke der Prüfmaschine vorgeschrieben wird, weiter auch die Stärke und die Art des zu verwendenden Werkstoffes. Allerdings erfordert die Prüfung eine einwandfreie Biegevorrichtung und eine gewisse Sorgfalt bei der Durchführung, wenn man nicht die gesamte Biegung wegen der Härte der Schweiße neben der Naht im ungeschweißten Blech und damit ein Fehlergebnis haben will.

Hier wurden Biegeproben an Schweißungen von St 52 vorgenommen. Es handelte sich ebenso wie bei den vorherigen Festigkeitsprüfungen um die Blechsorten x, y, z. Die erreichten Biegewinkel siehe Zahlentafel Nr. 13. Bei der Blechsorte y wird als bester Wert 35 Grad erreicht, bei der Blechsorte x 44 Grad, bei der Blechsorte z 43 Grad. Aber auch die übrigen Biegewinkel stechen nicht erheblich von diesen Bestwerten ab. Es gilt hier Ähnliches wie vorher bei den Festigkeits-Untersuchungen: Die Werte sind durchweg recht niedrig, wenn sie auch gegenüber anderen Veröffentlichungen nicht so stark in ihrer Höhe abweichen wie bei den Zerreißversuchen. Irgendeine Vorschrift, welche Winkel bei der Schweißung von St 52 zu erreichen sind, besteht nicht.

3. Kerbzähigkeit.

Der Stahlbau erhebt auch mit Recht die Forderung nach möglichst großer Kerbzähigkeit der Schweißverbindung, denn beim Schweißen entstehen leicht Kerben in Gestalt von Poren und Schlackeneinschlüssen, außerdem häufig durch Anfressungen der Elektroden an der Seite der Naht. Es muß aber verlangt werden, daß trotz dieser beinahe unvermeidlichen Kerben die Zähigkeit der Verbindung in möglichst unveränderter Weise aufrechterhalten bleibt.

Schwierig ist die Feststellung der Kerbzähigkeit. Einige Forscher stellen eine direkte Übereinstimmung zwischen Dehnung einer Schweiße und ihrer Kerbzähigkeit fest; andere behaupten das Gegenteil. Der Grund dieser geteilten Meinungen liegt m. E. nach an den außerordentlichen Schwierigkeiten, die sich gerade bei der Durchführung von Kerbschlagversuchen an Schweißverbindungen ergeben. Sieht man zunächst von den mehr oder minder großen Schwierigkeiten ab, die einzelnen Bedingungen, unter denen die Schweißung entsteht, konstant zu halten (Erwärmung, Größe des Probestückes, Elektrodenführung, Lichtbogenlänge...), ergeben sich außerdem immer noch genug Schwierigkeiten beim Durchführen des Versuches selbst. Es wird hier nicht nur, wie schon bei der ungeschweißten Probe, die Art der Kerbe und Größe und Form der Probe eine große Rolle spielen, sondern auch die Lage der Kerbe in der Schweiße (siehe schematische Skizzen Abb. 23; 24; 25). Außerdem üben die einzelnen Blasen und Schlackeneinschlüsse auf die Durchführung des Versuches einen verhängnisvollen Einfluß aus. Wenn die Kerbzähigkeit nur noch durch die Größe und Anzahl der Blasen beeinflußt würde, ginge es immerhin noch an. Das ist aber leider nicht der Fall, denn auch Form und zufällige Lage dieser Einschlüsse sind von großem Einfluß. Daraus erklärt sich, daß die bisher veröffentlichten Werte der Kerbzähigkeit von Schweißverbindungen so außerordentlich verschieden sind, und daß eben die Meinungen über Zusammenhänge der Kerbzähigkeit mit anderen Festigkeitseigenschaften der Schweiße so geteilt sind. Allgemein anerkannt ist heute, daß die Kerbzähigkeit sinkt durch Schweißen mit langem Lichtbogen, daß sie bei blanken Elektroden geringer ist als bei umhüllten. Glühen der Schweiße verbessert in der Regel bei stick-

stoff- und sauerstoffarmen Schweißungen (also bei umhülltem Draht) die Kerbzähigkeit.

4. Dauerfestigkeit.

Auch hierzu lautet die Forderung des Stahlbaues, daß die Dauerfestigkeit der Schweißverbindung — also der Schweiße und des Überganges — möglichst hoch ist. Vor allem soll das Arbeitsvermögen für stoßweise Dauerbeanspruchungen möglichst groß sein. Man denke, um die Berechtigung dieser Forderung einzusehen, nur an das Beispiel der geschweißten Trägeranschlüsse von Eisenbahnbrücken, die gegebenenfalls durch Zugkräfte schon sehr stark belastet sind, und wo außerdem durch die Stöße an den Schienen-Enden die dauernden Zusatzbeanspruchungen hinzukommen. Es sei in diesem Zusammenhange auf die Veröffentlichungen von Graf und Schaechterle, Stuttgart, hingewiesen, die feststellten, daß durch das Schweißen der Werkstoff in der Einbrennzone für Dauerbeanspruchungen außerordentlich geschwächt ist. Nach Daeves besteht kein Zusammenhang zwischen Bruchdehnung und Dauerfestigkeit von Schweißverbindungen; dagegen soll ein guter Zusammenhang zwischen der Bruchfestigkeit und der Dauerfestigkeit bestehen. Daeves weist nach, daß die wenig Nitritnadeln enthaltende Gasschmelzschweißung bei geringerer Zugfestigkeit eine geringere Dauerfestigkeit besitzt als die mit dem Lichtbogen geschweißten Proben, bei denen beide Werte bei höherem Stickstoffgehalt höher liegen. In neuerer Zeit sind aber andere Forscher, z. B. Graf, zu entgegengesetzten Ergebnissen gekommen.

Es ergibt sich leider die Tatsache, daß die erhaltenen Werte außerordentlich streuen, weil die Dauerfestigkeit von so vielen Faktoren abhängt. Die Folgerungen, die man aus solchen Ergebnissen ziehen kann, sind infolgedessen auch recht verschieden. Über alle diese Fragen werden zur Zeit an verschiedenen Stellen (Stuttgart, Dresden, Dahlem) eingehende Versuche durchgeführt, über deren Ergebnisse im Augenblick zum Teil noch nichts bekannt ist.

5. Korrosionswiderstand.

Der Stahlbau fordert ferner einen möglichst großen Korrosionswiderstand der Schweißung. Zum mindesten wird verlangt, daß der Korrosionswiderstand der Naht ebenso groß ist wie der

des Werkstoffes. Auch hier gilt, daß diese Festigkeit sehr stark von der gewählten Konstruktion abhängig ist. Köster stellt fest, daß die Stickstoff-Aufnahme des Schweißgutes den Korrosionswiderstand der Naht wesentlich herabsetzt.

Weiter wird der Korrosionswiderstand beeinflußt von der Oberfläche der Naht. Bedeckt sich die Schweißung mit einer Schlackenschicht, die zunächst schwer zu entfernen ist, so besteht die Gefahr, daß beim Streichen des Bauwerkes die Schlackenschicht zwar den schützenden Überzug erhält, daß aber bald die Schlackenschicht mit dem Rostschutz infolge von mechanischen Beanspruchungen und von Erschütterungen abplatzt, so daß dann die Schweißnaht völlig ungeschützt daliegt.

Auch die Anwesenheit von Haarrissen setzt den Korrosionswiderstand herab, da dort Wasser eindringen kann und die Naht zerstört.

Der beste Korrosionsschutz scheint eine möglichst glatte Nahtoberfläche zu sein, die am wirksamsten ein Festsetzen von Wasser usw. verhindert. Damit kommt man zur letzten Forderung:

6. Äußere Beschaffenheit der Naht.

Es wird verlangt, daß die entstehende Naht möglichst glatt ist und sich dem Blech möglichst unauffällig anschmiegt. Man erspart hierdurch Nacharbeit, zumindest werden solche glatten Nähte an einer fertigen Konstruktion ästhetisch befriedigend wirken und daher den Erbauer noch besonders empfehlen.

Man wird diese Eignung an Hand eines einfachen Schweißversuches beurteilen, gegebenenfalls unter einem gleichzeitigen Rostversuch. Ziffernmäßige Beurteilung wird sich hier gar nicht oder nur sehr schwer durchführen lassen.

IV. Schluß.

Durch vorstehende Ausführungen sollte gezeigt werden, auf welche Weise Elektroden nicht nur auf ihre Eignung in mechanischer Hinsicht untersucht werden können, sondern vor allem auf ihre Eignung in wirtschaftlicher Beziehung. Dazu ist noch einmal zu betonen, daß Elektrode, Schweißmaschine, Schweißer, Schweißarbeit für eine solche Untersuchung ein untrennbares Ganzes bilden, daß sich durch Änderung eines dieser Faktoren gegebenenfalls die Ergebnisse dieser Prüfung verschieben können.

Zahlentafel Nr. 1.

Legierungsbestandteile von blanken Elektroden.

Nr.	Forscher	Gehalt in % an						
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
1	Schimpke . . .	0,04	0,50	Sp	0,04	0,04	—	—
2	Schimpke . . .	0,04	0,10	Sp	0,01	0,03	—	—
3	Schimpke . . .	0,07	0,47	Sp	0,08	0,05	—	—
4	Kjellberg . . .	0,09	0,07	0,004	0,05	0,01	—	—
5	Friland	0,06	0,04	0,030	0,07	0,01	—	—
6	Reichsbahn . . .	0,10	0,50	Sp	0,04	0,03	—	—
7	Meller	0,15	0,50	0,080	0,05	0,05	—	—
8	Neese	0,04	0,50	Sp	0,04	0,03	—	—
9	Amerika	0,09	0,05	0,020	0,03	0,06	0,28	Sp
10	Krupp	0,04	0,11	Sp	0,01	0,03	—	—
11	Wundram . . .	0,10	0,40	0,100	0,03	0,03	—	-

Zahlentafel Nr. 2.

Verzeichnis der untersuchten Elektroden.

Kurzzeichen	Stromstärke für 4 mm Durchmesser	Polarität der Elektrode	Bemerkungen	d	D	Durchmesserverhältnis	Gruppe	Sollwert		
								Festigkeit	Dehnung	Brinellhärte
	A			∅ mm	∅ mm	D/d	—	kg/mm²	%	kg/mm²
A	110	—	Zur Schweißung von Profilen	4	4	1	Bl	34—42	—	95—115
B	160	—	Für Verbindungs- und Dichtungsschweißen .	4	4	1	Bl	50	—	140
C	110	—	Selbst umhüllt mit Elektroden-Paste, Type Hellgrau	4	4,1	1,02	Sg	—	—	—
D	160	—	Selbst umhüllt mit Elektroden-Paste, Type Grau	4	4,1	1,02	Sg	—	—	—
E	150	—	Für einfache Profilschweißung	4	4,1	1,02	Du	32—34	—	—
F	150	—	Für hohe Beanspruchungen	4	4,1	1,02	Du	42—45	12	—
G	150	+	Für Stahlbauten, besonders glatte Nähte . .	4	6.1	1,52	Di	40—42	16—20	115—130
H	115	+	Für Verbindungs- und Dichtungsschweißung .	4	5,8	1,45	Wi	—	—	-

Zahlentafel Nr. 3.

Preise der untersuchten Elektroden.

(Stand Oktober 1931.)

Elektroden Art	Durchmesser mm	handelsübliche Länge mm	Preise in RM. je 1000 St. handelsüblicher Länge	Preise in RM. je 100 kg handelsüblicher Länge	Preise je Stück in Rpf. bzw. auf Länge 330 mm	333 mm	350 mm	450 mm	1000 mm	Bemerkungen
A	4	1000	—	31,0	—	1,0	—	-	3,0	
B	4	Ringen	—	105,0	—	—	—	—	10,2	kommt in
B	4	350	—	110,3	—	—	3,1	—	—	beiden
C	4	(333)	—	—	—	2,1	—	—	—	Arten in
D	4	(350)	—	—	—	—	4,4	—	—	den Han-
E	4	330	25,0	—	2,5	—	—	—	—	del
F	4	330	43,0	--	4,3	—	—	—	—	
G	4	450	90,0	—	—	—	—	9,0	—	
H	4	450	300,0	—	—	—	—	—	30,0	

Zahlentafel Nr. 6.

Ergebnisse des Elektroden-Vergleichs (bez. auf 1000 mm Länge).

	Elektroden A	B	C	D	E	F	G	H
Effektive Elektrodenkosten Rpf/St.	3,33	13,62	7,44	17,40	10,40	18,45	30,90	104,30
Effektive Zeitkosten Rpf St.	26,6	19.2	36,0	29.0	32,6	40,6	30,4	37.1
Effektive Arbeitskosten Rpf/St.	12,92	12,23	15,58	15,30	13,30	20,20	15,10	20,80
Gesamtkosten	42,85	45,05	59,02	61,70	56,30	79,25	76,40	162,2
Reihenfolge	1,00	1,05	1,38	1,44	1,32	1,85	1,78	3,79
Reihenfolge	1	2	4	5	3	7	6	8

Zahlentafel Nr. 4.

Spritz-Abbrand und Endverluste.

Versuchs-Nr.	Elektroden: Art	Durchmesser	Länge	Gewicht d. blanken Drahtkerns	Einspannenden: Länge	Gewicht	Verlust	Netto-Schweißgew.	Strom: Art Pol	Größe	Blechstreifen: Gew. vor d. Schw.	Gew. nach d. Schw.	Sollgewicht	Verluste: Spritzverluste	Spritzverluste: Einzelwert	Spritzverluste: Durchschnitt	Gesamtverlust
	—	mm	mm	g	mm	g	%	g	—	A	g	g	g	g	%	%	
a	b	c	d	e	f	g	h $\frac{100 \cdot g}{e}$	i	k	l	m	n	o $m+i$	p	q $\frac{100 \cdot e}{i}$	r	s $h+r$
214											620	649	652	3	9,0		
215	A	4	333	34	20	2	6,0	32	G	— 110	432	461	464	3	9,0	8,0	14,0
216											314	344	346	2	6,0		
157											637	661	669	8	25,6		
158	B	4	350	34	20	2	5,9	32	G	— 160	512	537	544	7	21,9	23,1	29,0
159											525	550	557	7	21,9		
211											655	685	687	2	6,2		
212	C	4	333	34	20	2	6,0	32	G	— 110	481	509	513	4	12,4	9,3	15,2
213											461	490	493	3	9,4		
217											431	455	463	8	25,0		
218	D	4	350	34	20	2	5,9	32	G	— 160	452	477	484	7	21,8	21,8	27,4
219											512	538	544	6	18,7		
220											352	377	382	5	16,7		
221	E	4	330	32	20	2	6,3	30	G	— 150	323	347	353	6	20,0	21,1	27,4
222											416	438	446	8	26,6		
160											438	462	468	6	20,0		
161	F	4	330	32	20	2	6,3	30	G	— 150	520	542	550	8	26,6	23,3	29,6
162											319	342	349	7	23,3		
154											410	436	452	16	38,1		
155	G	4	450	44	20	2	4,5	42	G	+ 150	551	580	593	13	30,9	30,9	35,4
156											552	584	594	10	23,8		
163											431	459	473	14	33,3		
164	H	4	450	44	20	2	4,5	42	G	+ 115	580	607	622	15	35,7	31,7	36,2
165											584	615	626	11	26,2		

Zahlentafel Nr. 5.

Hauptvergleich der Elektroden (bez. auf 450 mm Länge).

Zeile	Rechnung		Elektroden A	B	C	D	E	F	G	H
	Tabellenwert									
a	= Tw	Länge der Elektroden mm	333	350	333	350	330	330	450	450
b	Tw	Kosten Rpf/St.	1,0	3,1	2,1	4,4	2,5	4,3	9,0	30,0
c	$\frac{b \cdot 450}{a}$	Kosten bez. auf 400 mm Länge Rpf/St.	1,35	3,98	2,84	5,66	3,41	5,86	9.0	30,0
d	Tw	Spritzverluste %	8,0	23,1	9,3	21,8	21,1	23,3	30,9	31,7
e	Tw	Abfallenden mm/St.	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0
f	$\frac{e \cdot 450}{a}$	Abfallenden bez. auf 450 mm Länge mm/St.	27,0	25,7	27,0	25,7	27,3	27,3	20,0	20,0
g	$\frac{f \cdot 100}{450}$	Abfallenden %	6,0	5,72	6,0	5,72	6,06	6,06	4,44	4,44
h	$d + g$	Gesamtverlust %	14,00	28,82	15,30	27,52	27,16	29,36	35,34	36,14
i	$1 - \frac{h}{100}$	„1 – q“	0,860	0,712	0,847	0,725	0,728	0,706	0,647	0,639
k	Tw	Zeit je Stück sek/St.	113,0	68,4	117,5	76,8	82,4	106,8	104,3	131,2
l	$\frac{k \cdot 450}{a}$	Zeit je Stück bez. auf 450 mm Länge sek/St.	152,8	87,8	158,8	98,6	112,3	145,5	104,3	131,2
m	Tw	Auswechselzeit sek.	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
n	$m\left[\frac{450}{a} - 1\right]$	Zeitzuschlag sek.	18,1	14,7	18,1	14,7	18,7	18.7	0	0
o	$l + n$	Gesamtzeit sek/St.	170,9	102,5	176,9	113,3	131,0	164,2	104,3	131,2
p	$\frac{o}{i}$	Effektivzeit sek/St.	199,0	144,1	208,5	156,4	180,0	232,6	161,5	205,2
r	Tw	Arbeitsverbrauch kWh St.	0,194	0,160	0,220	0,194	0,160	0,236	0,220	0,300
s	$\frac{450 \cdot r}{a}$	Arbeitsverbrauch bez. auf 450 mm Länge kWh/St.	0,262	0,205	0,297	0,249	0,218	0,322	0,220	0,300
t	$\frac{s}{i}$	Effektivverbrauch kWh St.	0,305	0,288	0,350	0,344	0,309	0,456	0,340	0,470
u	$\frac{c}{i}$	Eff. Elektrodenkosten Rpf/St.	1,57	5,60	3,35	7,81	4.68	8,30	13,90	46,90
v	$\frac{p \cdot 4}{60}$	Eff. Zeitkosten Rpf/St.	13,27	9,61	13,90	10,44	12,00	15,55	10,78	13,70
w	$t \cdot 20$	Eff. Stromkosten Rpf/St.	6,10	5,76	7,00	6,88	6,17	9,12	6,80	9,40
x	$u + v + w$	Gesamtkosten Rpf/St.	20,94	20,97	24,25	25,13	22,85	32,97	31,48	70,00
y	$\frac{x}{A\,(x)}$	Reihenfolge . . .	1,00	1,00	1,16	1,21	1,09	1,57	1,50	3,34
z	—	Reihenfolge . . .	1	2	4	5	3	7	6	8

Zahlentafel Nr. 7 a.

Schweißzeit und Stromverbrauch.

Versuchs-Nr.	Elektroden			Strom				Zeit							Bemerkungen
	Art	Durchmesser	Länge	Art und Pol	Größe	Verbrauch insgesamt	Verbrauch je Stück	Einzelzeit	Summe der Einzelzeiten	Mittelwert der Zeiten	Gesamtzeit	Gesamtzeit	Gesamtauswechselzeit	Einzelauswechselzeit	
	—	mm	mm	—	A	kWh	kWh	sek	sek	sek	′ ″	sek	sek	sek	
206								122,5							
207								111,2							
208	A	4	333	G —	110	0,97	0,194	103,3	565,3	113	12′ 56″	776	210,7	52,6	
209								118,8							
210								109,5							
176								68,5							
177								63,7							
178	B	4	350	G —	160	0,80	0,160	63,7	341,4	68,4	9′7,6″	547,6	206,2	51,6	
179								74,2							
180								71,3							
201								118,0							
202								117,0							
203	C	4	333	G —	110	1,10	0,220	116,8	587,8	117,5	13′13,0″	793,0	205,2	51,4	
204								117,0							
205								119,0							
191								76,8							
192								75,8							
193	D	4	350	G —	160	0,97	0,194	77,8	384,2	76,8	9′52,2″	592,2	208,0	52,0	
194								75,8							
195								78,0							
196								81,6							
197								81,3							
198	E	4	330	G —	150	0,80	0,160	84,6	411,7	82,4	8′42,7″	522,7	111,0	27,8	
199								81,8							
200								82,4							

Zahlentafel Nr. 7 b.

Schweißzeit und Stromverbrauch.

Versuchs-Nr.	Elektroden			Strom				Zeit							Bemerkungen
	Art	Durchmesser	Länge	Art und Pol	Größe	Verbrauch insgesamt	Verbrauch je Stück	Einzelzeit	Summe der Einzelzeiten	Mittelwert der Zeiten	Gesamtzeit	Gesamtzeit	Gesamt-auswechselzeit	Einzel-auswechselzeit	
	—	mm	mm	—	A	kWh	kWh	sek	sek	sek	′ ″	sek	sek	sek	
166								111,0							
167								97,2							
168	F	4	330	G —	—	—	—	85,8	481,4	96,2	11′18,9″	678,9	197,5	49.4	[1]
169								91,3							
170								96,1							
171								105,5							
172								102,3							
173	F	4	330	G —	150	1,18	0,236	108,7	534,0	106,8	12′21,0″	741,0	207,0	51,8	
174								113,5							
175								104,0							
181								111,3							
182								102,5							
183	G	4	450	G +	150	1,10	0,220	94,5	522,0	104,3	12′34,1″	754,1	232,1	58.2	
184								97,7							
185								116,0							
186								135,0							
187								130,5							
188	H	4	450	G +	115	1,50	0,300	131,4	656,2	131,2	13′55,0″	835,0	178,8	44.7	[2]
189								127,8							
190								131,5							

[1]) Versuch ungültig. Zu hoher Schweißstrom. Siehe Versuch Nr. 171 bis 175.

[2]) Mittelwert der Auswechselzeiten 51,8 sek (ohne Berücksichtigung der Versuche 196—200).

Zahlentafel Nr. 8.

Berechnung der prozentualen Kostenanteile beim Verschweißen der Elektroden (bez. auf 450 mm Länge).

Berechnungsgrundlage bezieht sich auf Tafel Nr. 5		Elektroden							
		A	B	C	D	E	F	G	H
$\frac{100 \cdot u}{x}$	Elektrodenkosten .	7,5	26,7	13,8	31,2	20,5	25,3	44,2	67,0
$\frac{100 \cdot v}{x}$	Zeitkosten . . .	63,5	45,8	57,2	41,4	52,5	47,4	34,3	19,6
$\frac{100 \cdot w}{x}$	Stromkosten . .	29,0	27,5	29,0	27,4	27,0	27,3	21,5	13,4
	Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Zahlentafel Nr. 9.

Berechnung der prozentualen Kostenanteile beim Verschweißen der Elektroden (bez. auf 1000 mm Länge).

Berechnungsgrundlage bezieht sich auf Tafel Nr. 6		Elektroden							
		A	B	C	D	E	F	G	H
$\frac{100 \cdot u}{x}$	Elektrodenkosten .	7,8	30,3	12,6	28,3	18,5	23,3	40,5	64,3
$\frac{100 \cdot v}{x}$	Zeitkosten . . .	62,2	42,7	60,9	47,0	58,0	51,2	39,7	22,7
$\frac{100 \cdot w}{x}$	Stromkosten . .	30,0	27,0	26,5	24,7	23,5	25,5	19,8	13,0
	Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Zahlentafel
Auswertung der

Abbildung Nr.		9			10			11		
Elektroden mit Kurzzeichen: b = Blanker Rand, g = Rand mit Glühhaut, r = Rostiger Rand		Ab	Ag	Ar	Bb	Bg	Br	Cb	Cg	Cr
Röntgenprobe Nr.		R 35	R 34	R 51	R 37	R 36	R 52	R 39	R 38	R 53
Linker Rand, Abschnitt Nummer	1	0,3	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,4	1,0	1,0
	2	0,1	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,9	1,0	1,0
	3	0,2	1,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,7	1,0	1,0
	4	0,1	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
	5	0,1	0,8	1.0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,7
	6	0,3	0,7	0,8	0,0	0,3	0,0	0,0	0,2	0,8
	7	0,0	1,0	1,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,7	1,0
	8	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	1,0
Rechter Rand, Abschnitt Nummer	1	0,0	1,0	0,0	0,0	0.0	0,7	0,4	1,0	1.0
	2	0,0	1,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,9	0,6	1,0
	3	0,0	0,8	1,0	0,0	0,0	0,3	0,8	0,5	0,7
	4	0,0	0,9	0,5	0,0	0,4	0,2	0,9	1,0	0.8
	5	0,0	0,9	0,7	0,0	0,2	0,0	0,7	0,7	1,0
	6	0,0	0,9	0,9	0,0	0,4	0,0	0,9	0,9	1,0
	7	0,0	0,7	0,7	0,0	0,0	0,0	0,8	1,0	1,0
	8	0,0	0,2	0,3	0,0	0,4	0,0	0,9	1,0	1,0
Summe	S	1,1	13,6	9,9	0,0	2,4	1,6	8,3	13,0	15,0
Mittelwert	$\frac{S}{16}$	0,07	0.85	0.62	0.0	0.15	0.10	0,52	0,81	0.94
Güte %	$= 100 \cdot \left[1 - \frac{S}{16}\right]$	93	15	38	100	85	90	48	19	6
Güteverhältnis	$\frac{g}{b}$ oder $\frac{r}{b}$		0,16	0,41		0,85	0,90		0,40	0,13
	$\frac{g}{b} + \frac{r}{b}$		0,57			1,75			0,53	
Reihenfolge			7			2			8	
	$\left[\frac{g}{b} + \frac{r}{b}\right] : Fg$		0,32			0,98			0,29	

Nr. 10.
Röntgenprüfung.

12			13			14			15			16		
Db	Dg	Dr	Eb	Eg	Er	Fb	Fg	Fr	Gb	Gg	Gr	Hb	Hg	Hr
R 41	R 40	R 54	R 43	R 42	R 55	R 45	R 44	R 56	R 47	R 46	R 57	R 49	R 48	R 58
0,9	0,9	0,5	0,0	0,5	0,9	0,0	0,8	0,5	1,0	0,3	0,7	0,0	0,8	0,0
0,0	0,7	0,1	0,0	0,0	0,8	0,2	0,2	0,7	0,9	1,0	1,0	0,0	0,8	0,0
0,1	0,7	0,9	0,0	0,0	0,9	0,0	0,1	0,0	0,0	1,0	0,8	0,0	0,0	0,2
0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,4
0,4	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,6	0,0	0,0	0,5
0,1	0,1	0,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0
0,0	0,3	0,8	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,0	0,0	0,0	0,6
0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,2
0,8	0,0	0,4	0,0	0,5	0,3	0,0	0,4	0,4	1,0	0,7	0,8	0,6	1,0	0,6
0,3	0,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,3	0,2	0,8	0,4	1,0	0,2	0,9	0,8
0,6	0,9	0,0	0,0	0,4	0,8	0,0	0,2	0,0	0,3	0,6	1,0	0,0	0,9	0,9
0,2	0,1	0,0	0,0	0,2	0,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	0,4	0,0	0,8	0,9
0,2	0,1	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,3	0,0	0,7	0,9
0,2	0,3	1,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	0,7	0,1
0,4	0,0	1,0	0,0	0,0	0,3	0,2	0,0	0,1	0,0	0,3	1,0	0,0	0,6	0,4
0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,5	0,3	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	0,0	0,7	0,1
4,2	4,4	8,6	0,0	1,8	7,1	0,7	2,2	2,1	4,4	7,0	10,8	0,8	7,9	6,6
0,26	0,28	0,54	0,0	0,11	0,44	0,04	0,14	0,13	0,28	0,44	0,68	0,05	0,49	0,41
74	72	46	100	89	56	96	86	87	72	56	32	95	51	59
	0,98	0,62		0,89	0,56		0,90	0,90		0,78	0,45		0,54	0,62
	1,60			1,45			1,80			1,23			1,16	
	3			4			1			5			6	
	0,89			0,81			1			0,69			0,65	

Zahlentafel Nr. 11.

Legierungsbestandteile der Blechproben aus St 52.

Kurzzeichen für die Bleche	Gehalte in %					
	C	Si	Mn	Cr	Cu	Mo
x	0,19	0,34	1,31	0	0,48	0
y	0,17	0,36	0,91	0,42	0	0,93
z	0,24	0,98	0,72	0	0,31	0

Zahlentafel Nr. 12.

Festigkeiten von Schweißungen an St 52.

Versuchs-Nr.	Blechart	Naht			Bruchlast	Festigkeit		Versuchs-Nr.	Blechart	Naht			Bruchlast	Festigkeit	
		Stärke	Länge	Querschnitt		Einzelwert	Durchschnittswert			Stärke	Länge	Querschnitt		Einzelwert	Durchschnittswert
—	Kurzzeich.	mm	mm	mm²	kg	kg/mm²	kg/mm²	—	Kurzzeich.	mm	mm	mm²	kg	kg/mm²	kg/mm²
10			28	168	6800	40,4		73			27	162	7100	43,7	
11	y	6	29	174	7800	44,8	42,9	74	x	6	33	198	9050	45,6	44,1
12			21	126	5500	43,6		75			15	90	3850	42,8	
16			23	138	8050	58,3		84			25	150	7300	48,6	
17	y	6	23	138	7250	52,6	52,5	85	z	6	18	108	5080	47,2	46,6
18			18	108	5050	46,7		86			19	114	5030	44,2	
22			21	126	6500	51,6		90			30	180	8500	47,2	
23	y	6	22	132	6250	47,4	47,8	91	z	6	24	144	6450	44,8	46,6
24			19	114	5050	44,3		92			22	132	6250	47,4	
51			13	78	3600	46,2		93			30	180	8200	45,6	
52	x	6	16	96	4300	44,8	46,2	94	z	6	27	162	7200	44,4	44,2
53			15	90	4250	47,2		95			28	168	7200	42,8	
57			21	126	5600	44,4		96			29	174	7600	43,7	
58	x	6	30	180	8500	47,2	46,4	97	z	6	29	174	8100	46,6	45,8
59			18	108	5150	47,6		98			22	132	6200	47,0	
63			30	180	8700	48,3		4			29	174	8060	46,4	
64	x	6	30	180	8500	47,2	45,5	5	z	6	27	162	7900	48,8	47,3
65			28	168	6900	41,0		6			25	150	7000	46,6	
70			22	132	6300	47,7		7			23	138	6250	45,2	
71	x	6	29	174	7600	43,7	46,6	8	z	6	27	162	7100	43,7	44,0
72			18	108	5200	48,2		9			22	132	5700	43,1	

Zahlentafel Nr. 13.

Biegewinkel von Schweißproben an St 52.

Versuchs-Nr.	Blechart	Nahtstärke	Biegewinkel		Versuchs-Nr.	Blechart	Nahtstärke	Biegewinkel	
			Einzelwert	Durchschnittswert				Einzelwert	Durchschnittswert
—	Kurzzeichen	mm	°	°	—	Kurzzeichen	mm	°	°
13			40		60			38	
14	y	6	30	35	61	x	6	42	38
15			36		62			34	
19			34		67			45	
20	y	6	24	31	68	x	6	42	44
21			36		69			46	
25			27		81			40	
26	y	6	28	29	82	z	6	38	39
27			32		83			40	
48			30		87			50	
49	x	6	42	37	88	z	6	36	43
50			38		89			—	
54			40		1			30	
55	x	6	34	39	2	z	6	38	37
56			44		3			44	

Schrifttum.

Bücher.

Achenbach-Lavroff: Elektrisches und autogenes Schweißen. Berlin, Ost-Europa-Verlag. 1925.

Altpeter: Die Herstellung der Flußeisen- und Stahldrähte. Halle, M. Boerner. 1926.

Arcos: Handbuch für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten. Aachen. 1930.

Bardtke: Richtlinien für die Prüfung von Schweißnähten. Berlin, V. D. I.-Verlag. 1931.

— Gemeinfaßliche Darstellung der gesamten Schweißtechnik. Berlin, V. D. I.-Verlag. 1931.

Bartels: Dauerfestigkeit ungeschweißter und geschweißter Guß- und Walzwerkstoffe. Dissertation Berlin. 1931.

Baumgärtel: Untersuchungen über den Einfluß von Umwicklungen der Schweißstäbe auf die mechanischen Festigkeitseigenschaften der Schweiße. (Forschungsheft 336) Berlin, V. D. I.-Verlag. 1930.

Carpmarl: Electric Welding and Welding Appliante. 1921.

Bondy: Ausgewählte Schweißkonstruktionen. Berlin. V. D. I.-Verlag. 1931.

Datsch: Lehrblätter für Lichtbogenschweißung. I und II. Berlin, Datsch. 1929.

Diegel: Beschaffenheit des Flußeisens für gute Schmelzflammenschweißung. (Forschungsheft 246) Berlin, V. D. I.-Verlag. 1922.

Glocker: Materialprüfung mit Röntgenstrahlen. Berlin, Springer-Verlag. 1927.

Graf: Dauerfestigkeit von Stählen mit Walzhaut ohne und mit Bohrung von Niet- und Schweißverbindung. Berlin, V. D. I.-Verlag. 1931.

Hinderer: Anwendung der Schweißung in Hüttenwerken. (Archiv für Eisenhüttenwesen.) Berlin, V. D. I.-Verlag. 1929.

Holslag: Arc Welding Handbook. 1924.

Horner: Spot and arc Welding. 1920.

Kantner und Herr: Die Verwendbarkeit der Röntgen-Verfahren in der Technik. Berlin, V. D. I.-Verlag. 1928.

Kirchner: Taschenbuch der gesamten Schweißtechnik. Leipzig, Leiner-Verlag. 1927.

Klosse: Das Lichtbogenschweißen. (Werkstattheft 43.) Berlin, Springer-Verlag. 1931.

Krökel-Niese: Die elektrischen Schweißverfahren. Berlin, Verlag Walter de Gruyter & Co. (Sammlung Göschen Nr. 1020.) 1930.

Kommerell: Erläuterungen zu den Vorschriften für geschweißte Stahlbauten mit Berechnungen. Berlin, Verlag W. Ernst & Sohn. 1931.

Lavroff: Soudure électrique. 1924.

Lebrun: La soudure électrique à l'Arc. Paris, Bibliothèque de l'office central de l'Acetylène et de la soudure autogène. 1929.

Lefring: Einfluß der Schweißstrombedingungen bei der elektrischen Lichtbogenschweißung von weichem Flußstahl. (Forschungsheft 332.) Berlin, V. D. I.-Verlag. 1930.
Meller: Elektrisches Lichtbogenschweißen. Leipzig, Verlag Hirzel. 1925.
Neese: Versuche über das elektrische Lichtbogenschweißen von Flußeisen und Grauguß. Dissertation Aachen. 1921.
Neubert: Betrachtungen über die elektrische Lichtbogenschweißung. Dissertation Braunschweig. 1924.
Owens: Fundament of Welding. Ohio Cleveland. 1923.
Ros: Über die Kerbschlagprobe. Zürich, Schweizerischer Verband für die Materialprüfung der Technik, Bericht 5. 1925.
Schimpke: Die neueren Schweißverfahren. (Werkstattheft 13.) Berlin, Springer-Verlag. 1926.
Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik. II. Bd. Berlin, Springer-Verlag. 1926.
Schmitt: Versuche zur Verbesserung der Schmelzschweißung durch Verwendung von harten Stahldrähten und vernickelten Elektroden. Dissertation Braunschweig. 1927.
Sachs und Fiek: Der Zugversuch. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. 1926.
Söchting-Saur: Schweißen (Preger: Spanlose Formung der Metalle in Maschinenfabriken Bd. III). Leipzig, Verlag Dr. M. Jänecke. 1930.
Sonderegger: Theorie und Praxis der elektrischen Lichtbogenschweißung. Zürich, Eidgen. Materialprüfungsanstalt, Bericht 6. 1926.
Stahl im Hochbau. Düsseldorf, Verein Deutscher Eisenhüttenleute. 1930.
Tewes: Die Auftragsschweißung mit dem elektrischen Lichtbogen bei Straßenbahnschienen Berlin-Britz, Selbstverlag. 1929.
V. D. I.-Fachausschuß: Fachausdrücke für Schweißtechnik. Berlin, V. D. I.-Verlag. 1931.
Viall: Electric Welding. New York. 1922.
Wawrziniok: Handbuch des Materialprüfungswesens. Berlin, Springer-Verlag. 1923.
Werkstoffhandbuch. Stahl und Eisen. Düsseldorf, Verein Deutscher Eisenhüttenleute. 1930.
Wild: Schweißtechnik als Mittel zur Rationalisierung. Berlin, Springer-Verlag. 1928.
Wundram: Die elektrische Lichtbogenschweißung. Hamburg, Hanseatische Verlagsbuchhandlung. 1925.
Zimm: Prüfverfahren für Schweißnähte. Berlin, Veröffentlichungen des Zentralverbandes der Preuß. Dampfkesselüberwachungsvereine. 1929.

Zeitschriften.

American Machinist, London.
Autogene Metallbearbeitung, Halle.
Bautechnik, Berlin.
Electrical Review, London.
Elektroschweißung, Braunschweig.
Elektrotechnik und Maschinenbau, Wien.
Elektrotechnische Zeitschrift, Berlin.

Engineering, Berlin.
Gas und Wasser, München.
Gießerei-Zeitung, Berlin.
Le Génie Civil, Paris.
Machinery, New York.
Maschinenbau, Berlin.
Reparaturwerkstatt, Berlin.
Schmelzschweißung, Hamburg.
Stahlbau, Berlin.
Stahl und Eisen, Düsseldorf.
Technisches Zentralblatt für Berg-, Hütten- und Maschinenbau, Düsseldorf.
The Welding Engineer, New York.
Werkstattechnik, Berlin.
Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, Berlin.
Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung Leipzig.
Zwanglose Mitteilungen des Fachausschusses für Schweißtechnik, Berlin.

Firmen-Werbeschriften.

A. E. G., Berlin.
Agil, Berlin.
Arcos, Aachen.
A. W. P., Leipzig.
Böhler, Berlin.
Elarc, Hannover.
Elektrogen, Hamburg.
Elin, Wien.
Enack, Berlin.
Fließ, Duisburg.
Hansa, Hamburg.
Kjellberg, Finsterwalde.
Nickel-Informationsbüro, Frankfurt a. M.
Peiner Walzwerk, Peine.
Quasi Arc, Frankfurt a. M.
Röchling, Leipzig.
Siemens, Berlin.
Silesia, Gleiwitz.
Vereinigte Stahlwerke, Dortmund.

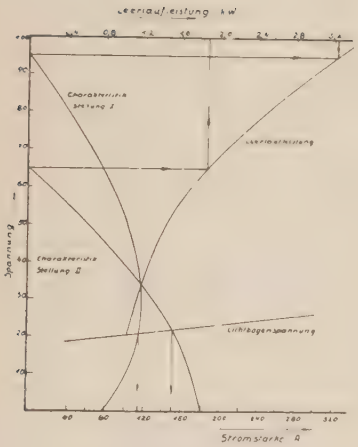

Abb. 1.

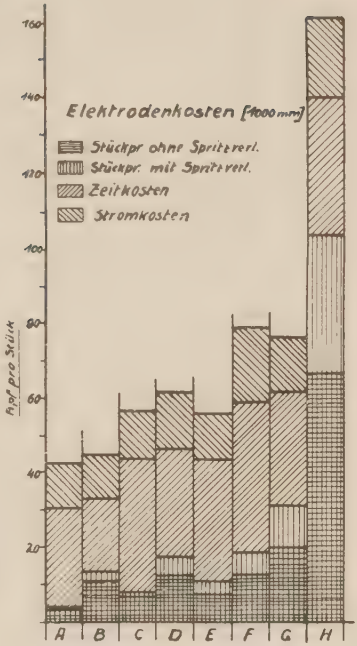

Abb. 6.

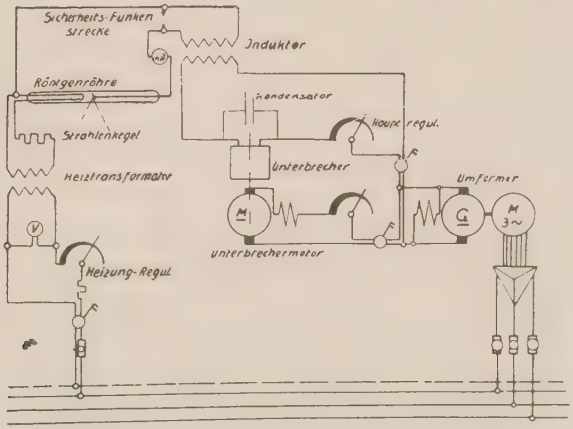

Abb. 8.

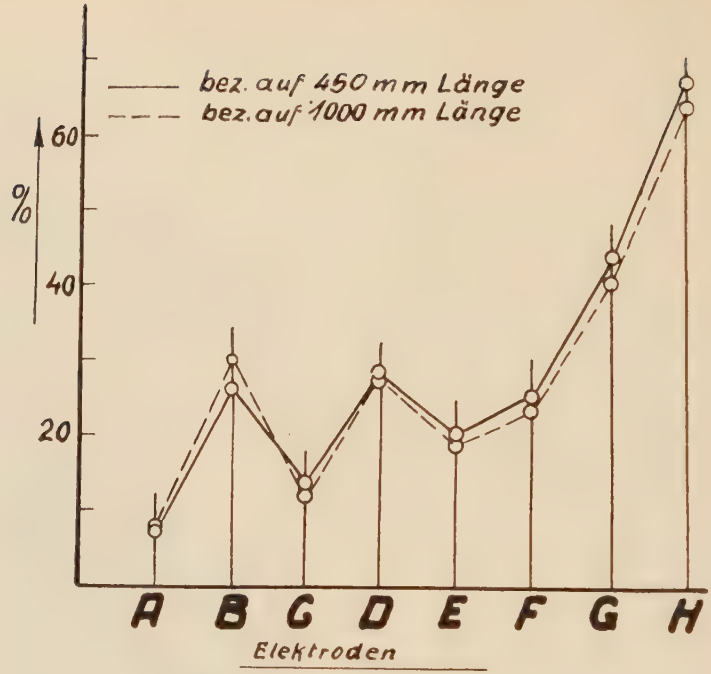
bez. auf 450 mm Länge
bez. auf 1000 mm Länge
%
60
40
20
A B C D E F G H
Elektroden

Abb. 2.

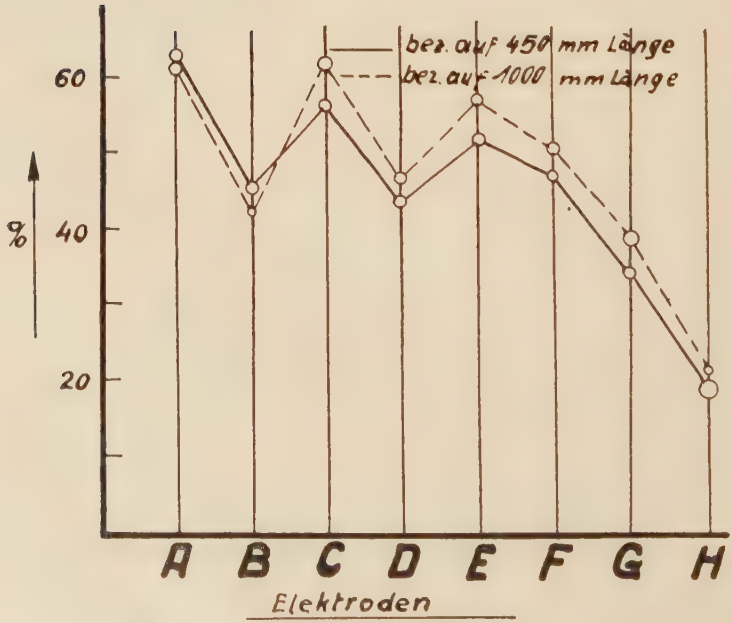
bez. auf 450 mm Länge
bez. auf 1000 mm Länge
%
60
40
20
A B C D E F G H
Elektroden

Abb. 3.

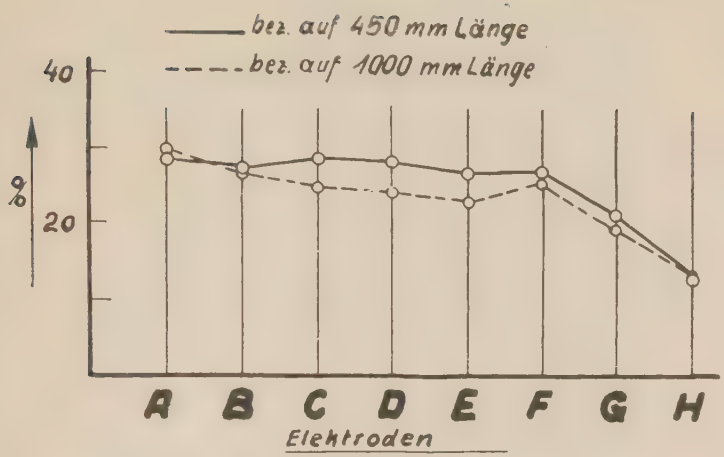
bez. auf 450 mm Länge
bez. auf 1000 mm Länge
40
%
20
A B C D E F G H
Elektroden

Abb. 4.

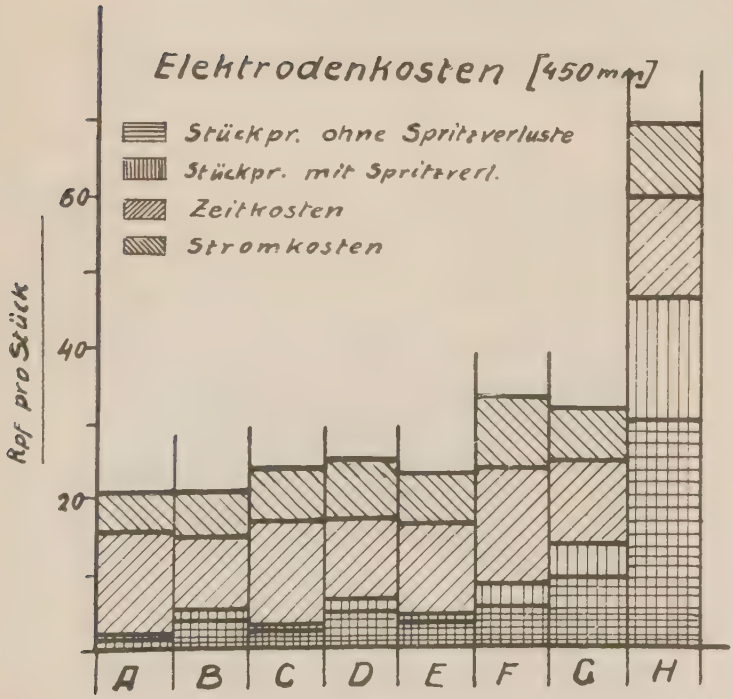
Elektrodenkosten [450mm]
Stückpr. ohne Spritzverluste
Stückpr. mit Spritzverl.
Zeitkosten
Stromkosten
Rpf pro Stück
60
40
20
A B C D E F G H

Abb. 5.

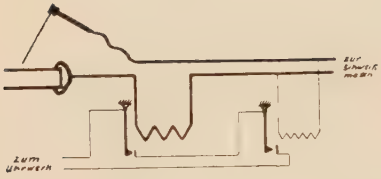

Abb. 19.

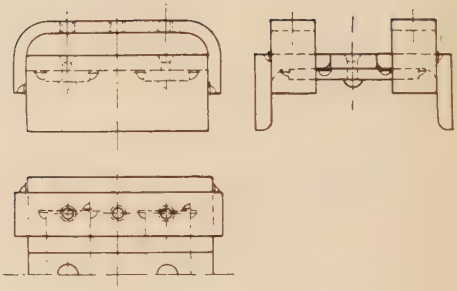

Abb. 20.

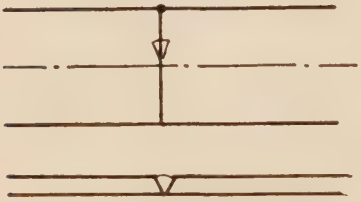

Abb. 21.

Abb. 22.

Abb. 23.

Abb. 24.

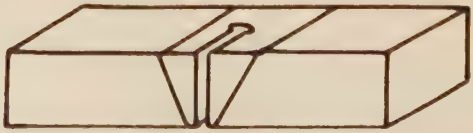

Abb. 25.

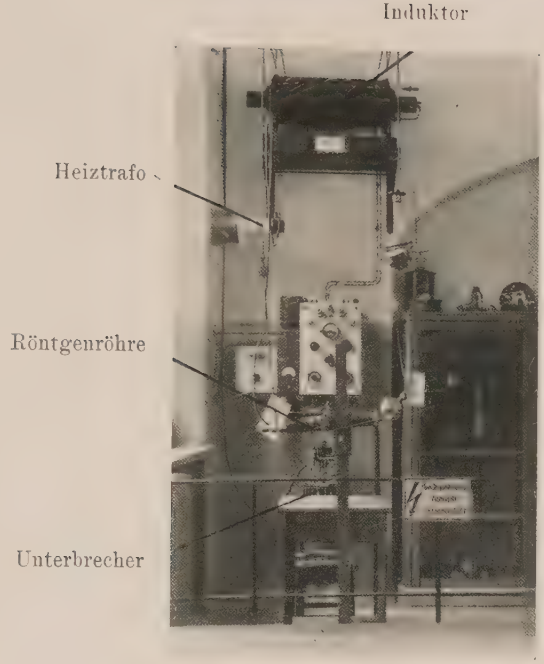
Induktor
Heiztrafo
Röntgenröhre
Unterbrecher

Abb. 7.

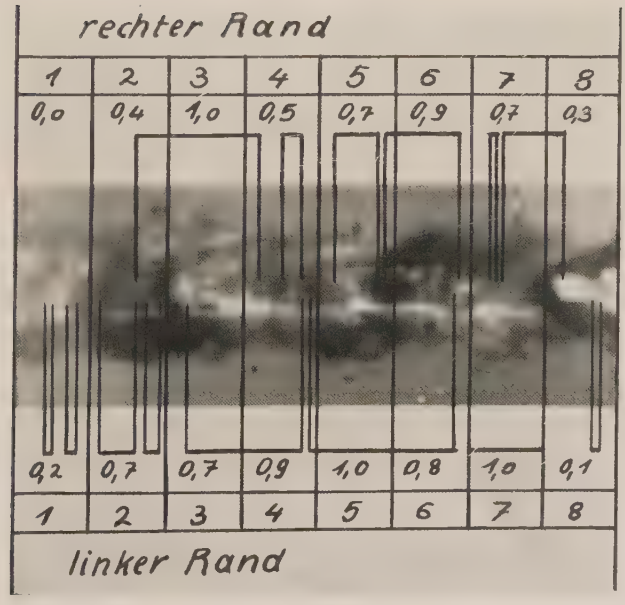
rechter Rand
1 2 3 4 5 6 7 8
0,0 0,4 1,0 0,5 0,7 0,9 0,7 0,3
0,2 0,7 0,7 0,9 1,0 0,8 1,0 0,1
1 2 3 4 5 6 7 8
linker Rand

Abb. 17.

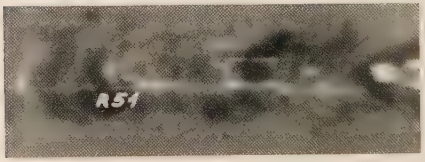

Abb. 9.

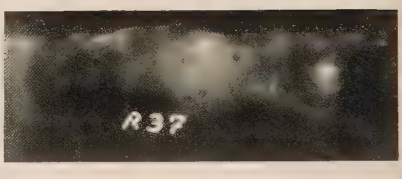

Abb. 10.

Abb. 11.

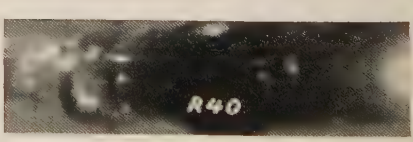

Abb. 12.

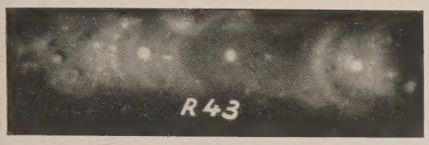

Abb. 13.

Abb. 14.

Abb. 15.

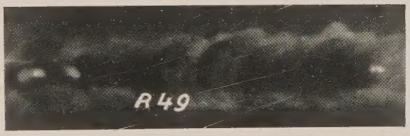

Abb. 16.

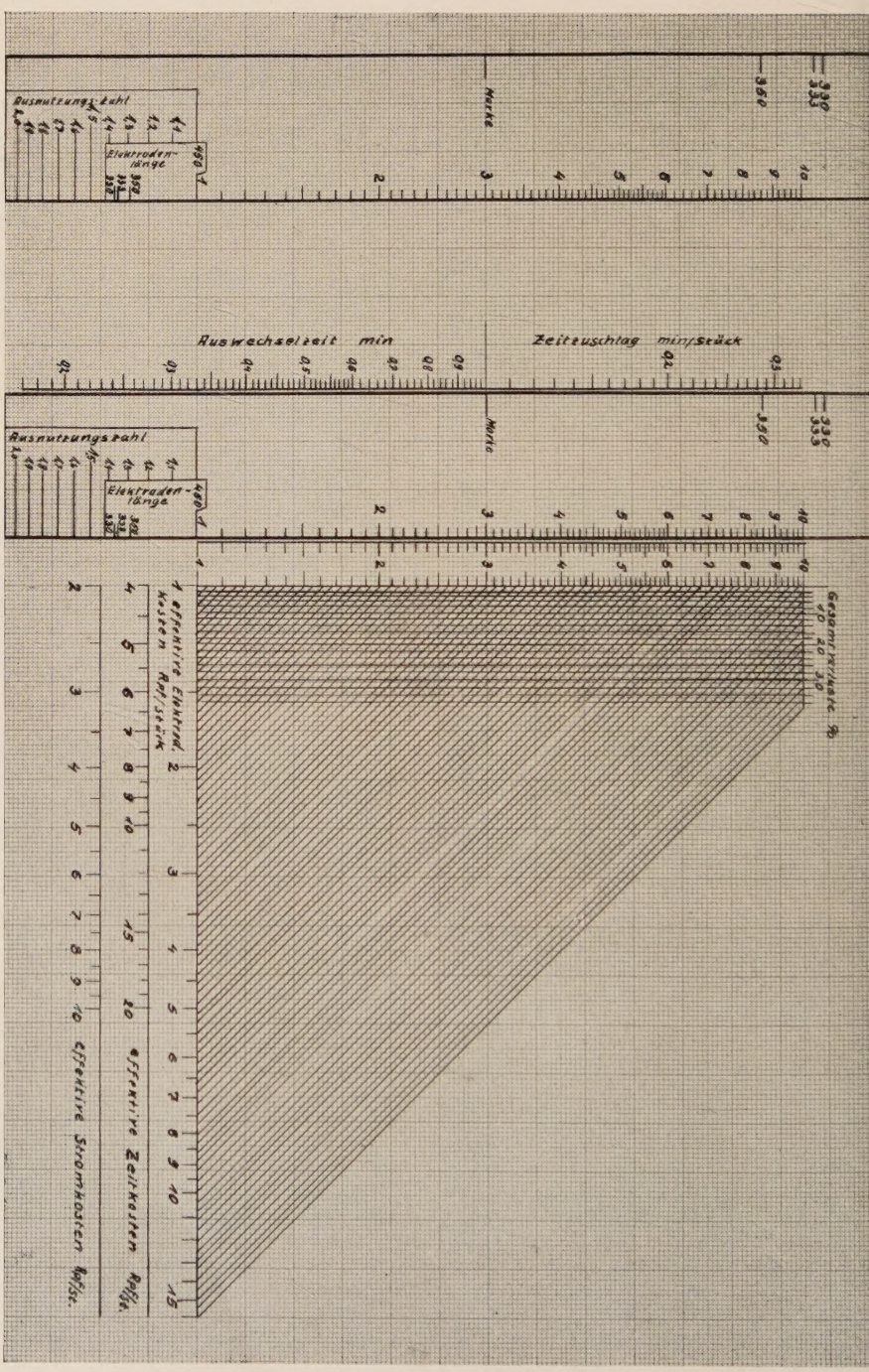
Auswechselzeit min
Zeitzuschlag min/Stück
Gesamtkosten Pf
Marke
Ausnutzungszahl
Elektroden-länge
effektive Elektrod. Kosten Pf/Stück
effektive Zeitkosten Pf/Min.
effektive Stromkosten Pf/St.

Abb. 18.

Lebenslauf.

Geburtsdatum: 18. August 1900.
Geburtsort: Breslau.
Eltern: Telegraphensekretär Paul Klosse, gest. 1922. Ehefrau Elisabeth geb. Geyer.
Schulbesuch: Eintritt in die Pestalozzi-Volksschule Breslau Ostern 1906. Umschulung und Besuch des Realgymnasiums am Zwinger, Breslau, bis zur Einziehung zum Heeresdienst im Juni 1918.
Entlassung aus dem Heeresdienst im Dezember 1918.
Fortsetzung des Schulbesuchs; Ablegung der Reifeprüfung und Immatrikulation an der Technischen Hochschule Breslau im Dezember 1919.
Praktische Arbeit an den Eisenbahnwerkstätten Breslau-Odertor W.S. 1919/20—S.S. 1920.
Studium und praktische Arbeit bei „Archimedes", Breslau; Kraftverkehrsgesellschaft Schlesien, Breslau; Peter Harkort & Sohn, Wetter/Ruhr; Ludwig Bönnhoff, Wetter/Ruhr bis zum Diplom-Examen im November 1924.
Antritt einer Konstrukteur-Stellung bei Orenstein & Koppel, Berlin im Februar 1925.
Aufgabe der Stellung zwecks Fortsetzung von Studien (pädagogischer Art) im November 1925.
Immatrikulation an der Technischen Hochschule Dresden; gleichzeitig Übernahme von Vertretungen an den Technischen Lehranstalten der Stadt Dresden W.S. 1925/26.
Erteilung eines Lehrauftrages an dieser Anstalt S.S. 1926.
Erteilung eines Lehrauftrages an den Technischen Lehranstalten der Stadt Dessau W.S. 1926/27 bis heute.
Einrichtung und Leitung von Elektroschweißkursen zunächst innerhalb der Ortsgruppe Dessau des Verbandes für autogene Metallbearbeitung, späterhin an den Technischen Lehranstalten der Stadt Dessau.
Ausübung der Tätigkeit eines beratenden Ingenieurs für Schweißtechnik.
Während dieser Zeit theoretische und praktische Studien über Lichtbogenschweißen; seit 1931 unter Leitung von Herrn Professor Gottwein und Herrn Professor Rein, Breslau.